

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRIGI  
TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

A.M.Allaberdiýew

**TEHNOLOGIKI PROSESLER WE  
APPARATLAR**



**Aşgabat – 2010**

## Giriş

Senagatlarda dürli prosesler amala aşyrylýar, ýagny başdaky materiallar himiki özara täsirleşme netijesinde agregat ýagdaýyny, içi gurluşyny we düzümini üýtgedýär.

Prosesleriň arasynda himiki we fiziki himiki prosesleriň umumy kanuna laýyklyklary bolýar. Bu prosesler esasan maşynlaryň we apparatlaryň täsirinde düdrli önümçiliklerde geçirilýär.

Esasy prosesler gaýtadan işlemek (reaktifikasyýa) bolup bu proses suwuň galyndylaryň bölünmegi. Bu proses kislorodyň önümçiliginde howany bölmekde we azot kislotasy önümünde azot kislotasyny we suwy bölmekde ulanylýar.

Çig mal gaýtadan işlemegiň usullaryny we proseslerini öwrenýän ylma tehnologiýa diýilýär.

Gaýtadan işleniş usuly - çig maldan geçip, onda önümiň alynmagyna çenli ähli operasiýalaryň jemidir. Tehnologiýa mehaniki we himiki tehnologiýalara bölünýär.

Mehaniki tehnologiýada – materialyň daşky görnüşiniň we fiziki häsiýetleriniň üýtgeme proseslerine garalýar.

Himiki tehnologiýa diýip maddanyň düzüminiň, häsiýetiniň we içki gurşawyň düýbünden üýtgemegine aýdylýar.

Prosesler parametleriň wagta görä üýtgemegine (tizlik, temperatura, konsentrasiýa) baglylykda toparlara bölünýär; durnukly we durnuksyz prosesler.

Durnukly prosesde wagta görä hemişe parametriň bahalary hemişelik, durnuksyz üýtgäp durýar.

- 1) Prosesler: mehaniki prosesler gaty maddalary gaýtadan işlemekde ulanylýar, mysal üçin materýallary garyşdyrmak.
- 2) Gidromehaniki prosesler suwuklyklary we gazlary gaýtadan işlemekde ulanylýar, ýagny suwuklyklaryň we gazlaryň garyşdyrylmagy, suwuk meňzeş däl ulgamlary

bölmek (gök-meñzeş däl süzmek, sentrifugirlemek gazlary tozandan arassalamak)

- 3)Ýyllyk prosesler- ýylylyk çalşyjy bilen baglanşykly ýylylygyň bir maddadan başga bir madda geçmegi bu prosesa gyzdymak, sowatmak, bugartmak, kondensasiýa, krisdallaşdyrmak we şuna meñzeş degişli.

Massa çalşyjynyň prosesler – maddanyň bir fazadan başga bir faza geçmegi ýagny:

- a)Gaty fazadan suwuk faza ýa-da suwuk fazadan gaty faza (kristallaşma).
- b)Bir suwuk fazadan başga bir suwuk faza geçmegi (ekstraksiýa).
- c)Suwuk fazadan gaz görnüşler (suwuklanmanyň bugarmagy) ýa-da gaz görnüşli fazadan suwuk faza geçmegi (bugyň kondensasiýasy, gazlary suwuklyklar bilen absorbsiýasy).
- d)Gaty fazadan gaz görnüşli faza geçmegi (gaýtadan kowma, gaty maddadan gazlaryň desorbsiýasy).

Massa geçiriji prosesleriň esaslary: gaty maddaary guratmak, rektifikasiýa we sorbsiýa (gazlaryň suwuklar bilen siňdirilmegi ýa-da gaty maddalar bilen siňdirilmegi).

Periodiki prosesler we üznüksiz prosesler.

Periodik prosesde alynýan önümler ýüklenende we düşürlede proses apparatyň ähli göwrümünde geçýär: tempratura, P,C, wagtyň üýtgemegi bilen üýtgäp durýar.

Üznüksiz prosesde geçýän proses bir wagtda geçýär, emma apparaty dürli nokatlarynda şeýle hem onuň her bir nokadynda T, P we beýleki parametrlr wagta görä üýtgemeyär. Üznüksiz prosesin ulanylmagy apparatyň öndürijiligini ýokarlandyrýan we önümçiligiň awtomatizasiýasyny hem-de mehanizasiýasyny ýenilleşdirýär, şeýlelikde önümiň hilini gowy we bir meñzeş bolýar. Üznüksiz işleýän apparatlar az maýa goýumyny we az harçlanmalary talap edýär.

## Nebiti gaýtadan işlemek we nebit we himiýa senagaty

Nebit-bu suwuk ýanyjy mineraldyr. Düzümi boýunça nebitiň düzüminde uglewodorodlaryň garyndysy bar (alkanlar, sikloalkanlar, arenlar) we bularan başga-da geteroatomlar bolan – kislorod, kükürt we azot.

Daşky görnüşi boýunça nebit-ýagjymak suwuklyk. Onuň reňki düzümindäki smoly maddalaryň düzümine we gurluşyna bagly; garmtyl, açyk we reňksiz hem bolup bilýär. Nebit suwdan ýeňil we onda eremeýär. Nebitiň süýgeşikligi onuň düzümi boýunça kesgitlenýär.

Nebit ýanyjylygy 42 MJ /gk

Nebitiň organiki däl döreýşini DI. Mendeleýew ilkinjileriň birinden öňe sürüpdür (1877ý). Şuňa laýyklykda metallaryň karbidi bilen suwuň özara täsirleşmegine nebitiň uglewodorodlary emele gelýär. Soňky wagtlarda kosmiki, wulkan atylma netijesinde nebitiň döreýşi giňden ýaýran. Emele gelişiniň organiki teoriýasyna garalanda nebit we gaz organiki maddalardan emele gelýär. (Mikrofloralaryň we mikrofaunalaryň garyndylary, ýagny deňiz suwdan haýwanat we ösümlük dünýäsiniň galyndyly jynslaryň ýokary gatlagynda ýygynanan organiki material kisloradynyň we bakteriýalaryň täsirinde gazlaryň emele gelmegi bilen dargaýarlar CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> we ş.m).

Nebiti ýeriň gurluşyndan almak üçin guýular burawlanýlar.

Nebiti gazyp almagyň üç usuly bar.

- 1) Fontan;
- 2) Kompresor (gazlift)
- 3) Çuňlaýyn nasosly usul
- 1) Eger-de nebit gatlagynda basyş ýokary bolsa onda ony fontan usuly bilen alynýar.
- 2) Egerde nebit gatlagynda basyş pes bolsa onda ony kompresor usuly bilen alynýar.

- 3) Çuňlaýyn – nasosly usul çuň guýular ekspluatasiýasynda we gatlagda basyşyň has pese gaçmagynda alynýar.

Nebitiň fraksiýa düzümi gaýtadan kowma netijesinde kesgitlenýär. Nebit we onuň önümlri gaýnama tempraturasy bilen häsiýetlendirýär, esem başdaky we ahyrky gaýnan tempraturasy boýunça kesgitlenýär. Aýratyn bir kesgitli tempratura interwalynda gaýtadan kowulýan wagty.

Nebitiň fraksiýa düzümi standart gaýtadan kowulýan apparatlarda, ýagny rektifikasiýa sütüni bilen üpjün edilen apparatlarda geçirilýär. Atmosfera basyşda. Fraksiýalary almak 200 °C çenli geçilýär. Tejribehanalarda indiki fraksiýalar ýa-da disdilyatlar alynýar: benzin - 180°C; kerosin – fraksiýa 180 - 240 °C; diesel ýangyjy 240-350°C. Bu distilyatlardan açyk reňkli nebit önümleri alynýar, ýagny awiasiya we awtomobil benzinler, benzin eredijiler; awiasion we ýşyklandyrjy kerasinler dürli görnüşli diesel ýangyjy bulardan galan galyndylara mazut diýilýär. Mazutdan: 350-420 °C – ýeňil disdilyat ýaglary; 420-500°C- agyr distilyatly ýaglar ýa-da 350-480°C – wakum gazoýl faksialar alynýar.

(500°C-dan ýokary) mazutdan galan galynda süýgeşikligine baglylykda mazut ýa-da ýarym mazut alynýar. Gudron ýokary süýgeşikli çalgy ýaglary we bitum almak üçin çig mal bolup hyzmat edýär.

**Himiki düzümi.** Nebitiň esasy elementleri-uglerod we wodorod. 83,5 – 87% C, 11,5-14%-H. Bular bilen birlikde kükürt, kislorod, azot hem bolýar N-0,001-0,3%, O-0,1-1,10%, S0,1-0,5%.

Ýokary kükürtli nebitde kükürdiň düzümi 2% ýokary. Nebitiň düzüminde az mukdarda beýleki elementler hem bolýar, ýagny materiallar-wanadi, nikel, demir magniý, brom, titan, kobalt, kaliý, kalsiý, natriý we ş.m. şeýle hem fosfor we kremniý.

### **Fiziki düzümi:**

- 1) Dykzylyk

- 2) Molekulýar agramy
- 3) Sügeşiklik
- 4) Ýalpyldama otlamak we öz-özünden otlamak temperatura
- 5) Doňma temperatura
- 6) Nebitiň optiki häsiýeti
- 7) Ereýjilik ukyby
- 8) Elektrik häsiýeti

Nebiti we nebit önümleriň absolýut we otnositel dykyzlygy bolýar.

Otnositel dykyzlyk nebit önümleriniň massasynyň 4<sup>0</sup>C-da arassa suwuň massasyna bolan gatnaşygyna deň. 20<sup>0</sup>C-da nebit önümleri üçin otnositel dykyzlyk  $S_4^{20}$  belgilenýär.

Nebitiň otnositel dykyzlygy 0,82 – 0,90 we ýeňil nebitiniňki – 0,720, agyr-0,959. Nebit we nebit önümleriniň dykyzlygy-bu nebitiň ýa-da nebit önümleriniň düzümine girýän ähli komponentleriň ortaça dykyzlygy.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen nebit önümleriniň dykyzlygy hem ýokarlanýar.

Benziniň otnasitel dykyzlygy – 0,750; kerosin-0800, dizel ýangyjy-0,85, mazut-0,95, ýaglar-0,880-0,930 çenli otlamak.

Öz-özünden otlamak temperatura diýip gyzdrylan nebit önümi howa bilen aragatnaşykda daşky otsuz öz-özünden ýanma aýdylýar 30-350<sup>0</sup>C -da.

Agyr nebit galyndyly öz-özünden ýanýar (benziniň 500<sup>0</sup>C temperaturasynda)

Doňma temperatura. Pes temperaturada nebit önüminiň akysyny peseldýär. Doňma temperaturany ýokarlandyrýan esasy faktor-parafinler we serezinler. Parafiniň düzümi näçe köp bolsa şonça doňma temperatura ýokarlanýar.

Elektrik häsiýeti. Suwsuz nebit we nebit önüm dielektrik. Gaty parafinler elektrik senagatynda izolýator hökmünde ulanylýar.

Optiki häsiýet: nusga reňki degişli nebitiň uglewodorodlary reňksiz.

Ereýjilik ukyby. Nebit we suwuk uglewodorodlar iody, kükürdi, dürli smolalary, ösümlük we haýwan ýaglaryny oňat eredýär. Gazlaryň ereýjiligi näçe ýokary bolsa, şonça-da P-ýokary, t-pes bolýar, onuň suwda ereýjiligi örän pes.

Suw nebit önümleriniň dykyzlygy olaryň gyzdyrylmagy bilen peselýär.  $20^{\circ}\text{C}$  – nebit önümiň dykyzlygyny bilip, (t) temperaturadaky dykyzlygy hasaplap bolýar.

$$S_4^t = S_4^{20} - \gamma (t-20)$$

Bu ýerde  $\gamma$  – göwrümlü giňelmäniň koeffisienti (sprowoçnik)

Molekulalaryň agramy suwuk uglewodorodlarynyň 1-njisi pentan – 72-deň.

Süýgeşiklik; nebitiň we nebit önümleriniň süýgeşikligi olaryň himiki we fraksiýa düzümine bagly. Dinamiki we kinematiki süýgeşiklik bolýar. Bular aýna wiskozimetr boýunça kesgitlenýär.

Nebitiň molekulýar massasynyň we gaýnama temperaturasynyň ýokarlygy bilen olaryň süýgeşikligi hem ýokarlanýar.

Ýalpyldama temperatura nebit önümleriniň fraksion düzümine bagly bolýar. nebit önümlerini gaýtadan kowmasy näçe pes bolsa şonça-da ýylpyldama temperaturasy pes bolýar. Benziniň ýalpyldama temperaturasy – 30-dan  $-40^{\circ}\text{C}$ , kerasin 30- $60^{\circ}\text{C}$ , dizel ýangyjy 30- $90^{\circ}\text{C}$ , nebit ýaglary 130- $320^{\circ}\text{C}$ .

## **Massa çalyşma prosesiniň maddy balansy**

### **1. Meňzeşlik.**

1. Hereketlendiriji güýç-parametrleriň ortaça tapawudy.
2. Ýylylyk çalyşmada iki sany ýylylyk (gowşuryjy) geçiriji, massa çalyşmada 2 gezek.
3. Bir fazadan ýa-da ýylylyk geçirijiniň golaýynda geçirme prosesi ýylylyk berme ýa-da massa berme kanuny esasynda geçip ýylylyk ýa-da massa berme koefisienti bilen häsiýetlendirilýär.

### **2. Tapawudy**

1. Bir ýagdaý-da hereketlendiriji güýç-temperaturanyň ortaça tapawudy, beýlekide bolsa konsentrasiýanyň ortaça tapawudydyr.
2. Bir ýylylyk görteriji diwar bilen bölünen, bir faza bolsa beýlekiden faza bölme araçägi bilen bölünen.

Hemme massa çalyşma prosesleri iki topara bölmek bolýar. Bir topara azyndan üç madda gatnaşýan-bu iki faza we paýlanylýan komponent. Bu ýagdaýda bir we ikinji madda üçünji paýlanylýan komponenti görterijidir. Bular ýaly proseslere absorbsiýa, adsorbsiýa, desorbsiýa we ekstraksiýa degişlidir.

2 topara-iki fazany düzýän madda komponenti çalyşmak bilen özleri massa çalyşma prosesine göniden-göni gatnaşýarlar:bu gaýtadan işleme(peregonka) we rektifikasiýa.

## **Fazalaryň arasyndaky deňagramlyk**

Massaçalyşma prosesler öwrülşiklidirler. Şunlukda maddalaryň bir fazadan beýlekisine geçirmeklik deňagramlyk ýagdaýyna çenli bolup geçýär.

Massaçalyşma prosesiniň haýsy ýagdaýa çenli geşjekdigini bilmeklik üçin deňagramlylygy bilmek zerurdyr. Deňagramlylygy öwrenmekligiň esasynda belli bolan Gibss fazalar düzgüni (ýatyr) ulanylýar:



$$C + \Phi = K + n$$

Bu ýerde  $C$  – erkinlik derejesi;  $\Phi$  –faza sany,  $K$  – ulgamyň komponentiniň sany,  $n$  – ulgama täsir edýän daşky faktorlaryň sany.

Gibbs fazalalar düzgüni esasan berlen şertlerde erkinlik dereje sanyny kesgitlemek üçin ulanylýar. Ýa-da deňagramlylygy kesgitlenende mümkin üýtgedip boljak parametrleriň sanyny görkezýär.

Ýokarda agzalan massaçalyşma prosesiň 2 topary üçin hem bu düzgüni ulanallyň.

$$1. \quad K=3$$

$$C = K + n - \Phi = 3 + 2 - 2 = 3$$

suw

>  $\text{NH}_3$

Eger  $P, T = \text{const}$  onda  $C=1$

howa

Bu ýagdaýda diňe – bir fazada komponentiň konsentrasiýasyny üýtgetmek bolýar.

2. 2 fazadan we 2 sany paýlanýan komponentden ybarat bolan sistemada

$$c = 2 + 2 - 2 = 2 \text{ deň.}$$

Eger  $P = \text{const}$  bolan ýagdaýynda fazanyň birine täsir edýän parametrler:

1. Şol bir maddanyň beýleki fazadaky konsentrasiýasy.

2. Temperatura



Görkezilen diagrammalara faza diagrammalary diýilýär. Bu ýerde şekillendirilen göni çyzyga deňagramlylyk çyzygy diýilýär.  $y = f(x)$

Deňagramlylyk konsentrasiýanyň  $y^*$  iş konsentrasiýasyna bolan gatnaşygyna paýlama koeffisiýenti ( $m$ ) diýilýär.

$$\frac{y^*}{x} = m$$

$$\frac{y^*_3}{x_3} = \frac{y^*_2}{x_2} = \frac{y^*_1}{x_1} = m$$

3. Hereket edýän apparatlarda massaçalyşma akymlar konsentraciýalary hiç wagt deňagramlylyk konsentraciýasyna deň däldir we deňagramlylyk bahasyna ýetmeýär. Şeýlelikde, biz paýlanýan komponentleriň iş konsentraciýalary bilen işleýäris. Şu konsentraciýalarynyň baglylygyna prosesniň iş çyzygy diýilýär. ( $y=f(x)$ )

Maddy balansy garalyň:

Maddalaryň mukdary boýunça maddy balans:

$$G_{baş} + Z_{baş} = G_{ahyr} + Z_{ahyr} \quad (1)$$

Paýlanýan komponent boýunça:

$$G_{baş} \cdot y_{baş} + Z_{baş} \cdot x_{baş} = G_{ahyr} \cdot y_{ah} + Z_{ah} \cdot x_{ah}. \quad (2)$$

bu ýerde  $x, y$  – iş konsentraciýalary.

$G_H, G_k, Z_H, Z_k$  – gaz we suwuk fazalaryň mukdary.

$y_H, y_k, x_H, x_k$  – paýlanýan komponentniň konsentraciýalary.

Apparatlaryň islendik nokadynda paýlanýan komponentniň konsentraciýalaryny bilmek zerurdyr. Şonuň üçin islendik kesimi saýlap alyp, material balansy ýazýarys:

$$G_{baş} \cdot Z = G \cdot Z_{ahyr}. \quad (3)$$

$$G_{baş} \cdot y_{baş} + Z \cdot x = G \cdot y + Z \cdot x_{ahyr}. \quad (4)$$

1) deňlemäni  $y$  boýunça çözelin:

$$y = \frac{Z}{G} \cdot x + \frac{G_{baş} \cdot y_{baş} - Z_{ah} \cdot x_{ah}}{G} \quad (5)$$

Eger:

$$\begin{aligned} G &= G_{baş} = G_{ahyr}, \\ Z &= Z_{baş} = Z_{ahyr}, \quad \frac{Z}{G} = A \end{aligned} \quad (6)$$

Onda:

$$y = \frac{Z}{G} \cdot x + y_{baş} - \frac{Z}{G} \cdot x_{ah}.$$

$$y=A \cdot x+B \quad (7) \quad \text{Çyzyk deňlemesi}$$

4. Massa çalyşma prosesiniň hereket ediji güýji konsentrasiýanyň tapawudydyr. Islendik massa çalyşma prosesi iş maddasynyň, iş konsentrsiýasynyň deňagramlylyk konsentrasiýasyna çenli üýtgemegi bilen häsiýetlendirilýär.

Şeýlelikde, faza diagramasyndaky iş we deňagramlylyk çyzygynyň kömegi bilen prosesiniň ugryny kesgitlemek mümkin.

Iş çyzygynyň ýapgytlygy näçe kiçi bolsa, şonça-da massa çalyşma prosesiniň tizligi ulydyr, ýagny iş we deňagramlylyk konsentrasiýasynyň tapawudy ulydyr.

Maddalaryň geçirimliligi.

Maddalaryň geçirimliligi ýa-da diffuziýa iki usul bilen bolup geçýär.

Konsentrasiýanyň ortaça tapaawudy bu fazalar üçin aşadaky deňelemeler arkaly tapylýar:

$$mb \text{ -----} \rightarrow ma$$

$$mb \text{ <-----} ma$$

$$ma \text{ -----} \rightarrow ma$$

$$mb \text{ -----} \rightarrow mb$$

$$mb$$

$$mb \text{ <-----} ma$$

$$ma$$

$$m'_b \rightarrow m'_a$$

$$\underline{m_b} \rightarrow \underline{m_a}$$

$$\Delta m_u \quad \Delta m_k$$

$$\Delta m_u / \Delta m_k \leq 2$$

$$\text{onda } \Delta m_{ort} = (\Delta m_u - \Delta m_k) / 2$$

$$\Delta m_u / \Delta m_k \geq 2$$

$$\text{onda } \Delta m_{ort} = (\Delta m_u + \Delta m_k) / 2, 3 \lg$$

$$(\Delta m_u / \Delta m_k)$$

## Tilsimatly prosesleriň maddy we energetiki balansy

Massanyň saklanmak kanuny boýunça girýän önümiň mukdary  $\sum G$  başdaky prosesin geçmeginiň netijesinde alynýan maddanyň mukdaryna deň bolmaly,  $\sum G$  ahyrdaky ýagny ýitgisiz.

$$\sum G_{\text{başdaky}} = \sum G_{\text{ahyrky}}$$

Emma praktiki ýagdaýlarda maddanyň ýitgileri bolýar.  $\sum G_{\text{ýitgi}}$ , onda maddy balansyň umymy formulasy

$$\sum G_{\text{başdaky}} = \sum G_{\text{ahyrky}} + \sum G_{\text{ýitgi}}$$

(apparatlaryň berk dældiginde ýitgi emele gelýär)

Proses üçin maddy balans prosesa gatnaşýan ähli maddalar üçin düzülip bilinýär. Şeýle hem maddalaryň içinden biri üçin hem düzülýär. Şeýlelikde gurutma prosesine maddy balansy gurutmaga berýän ähli çygly materiallara düzülýär, hem-de şol komponentleriň biri boýunça düzülýän guradylýan materýallaryň düzüminden gury maddanyň ýa-da çygyň mukdary boýunça maddy balans düzülýär.

1. Maddy balansyň esasynda önümiň çykymy kesgitlenýär, ýagny alynýan önümiň mukdarynyň maksimal alynýan önüme bolan gatnaşygyna düşünilýär we % -de aňladylýar. Önümiň çykymy harç edilen çig malyň birliginde hasaplanylýar. Eger-de çig malyň görnüşi bir näçe bolsa onda olaryň çykymy şol görnüşleriň haýsy bolsa-da birine bolan gatnaşygy boýunça hasaplanylýar.

2. Energiýa balansy energiýanyň saklanmak kanuny esasynda düzülýär, ýagny prosese girýän energiýanyň mukdary bölünip çykýan energiýanyň mukdaryna deň, ýagny girýän energiýa çykýan energiýa deň. Tilsimatly prosesleriň geçirimegi energiýanyň dürli görnüşlerini harçlanmagy bilen baglanşykly-mehanikli energiýanyň, elektrik energiýasynyň we ş.m. bu

prosesler köplenç ulgamyň entalpiýasynyň üýtgemeginde geçýär, ýagny maddanyň agregat ýagdaýynyň üýtgemeginde, mysal üçin: bugarma, kondensasiýa, ereme we ş.m. himiki prosesinde geçýän raksiýanyň ýylylyk effektiniň ähmiýeti uly, şonuň üçin hem energetiki balansyň ýylylyk balansy, onuň umumy deňlemesi şu aşakdaky görnüşlerden ybarat.

$$\sum Q_{\text{başdaky}} = \sum Q_{\text{ahyrky}} + \sum Q_{\text{ýitgi}}$$

Berilýän ýylylygyň mukdary

$$\sum Q_{\text{başdaky}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Bu ýerde  $Q_1$  – başdaky madda bilen berilýän ýylylyk;

$Q_2$  – ýylylyk göterji, ýagny aparaty gyzdyrjy ýylylygyň mukdary

$Q_3$  – fiziki we himiki öwrülişikleriň ýylylyk effekti (eger-de ýylylyk prosesiniň girelgesinde siňdirilse onda otresatel belgi bilen aňladylýar).

Çykarylýan ýylylyk mukdary ahyrky önümden çykýan ýylylykdan we çykarýan ýylylyk göterijiden ybarat (mysal üçin sowadylýan agent).

Energetik balansynda ýylylykdan başga-da energiýanyň ähli görnüşleriniň girdeýjisi we çykdaýjysy hasaba alynýar; mysal üçin suwuklyklaryň garyşdyrylmagynda we gazlaryň transportirlenmeginde gysylmagynda mehaniki energiýanyň harçlanmagy.

Ýylylyk balansyň easynda suw bugunyň, suwuň we beýleki ýylylyk göterijileriň harçlanylşy tapylýar-energetik balans boýunça prosesde amala aşyrylýan energiýanyň umumy harçlanşy tapylýar.

## Prosesleriň we apparatlaryň topary

### Mehaniki prosesler we apparatlar

1. Döwmek we ownatmak gaty maddalary mehaniki taýdan owratmak posesidir. Owratmak netijesinde işlenýän materialyň üst ýüzi ulalýar.

Ownuk böleklere ýa-da tozga dörnüşe çenli kiçeldilen gaty materiallary ulanmaklyk, eremekligi, ýakmagy, himiki täsirleşmâni ýagny, gatnaşýan gaty maddanyň üst ýüzi náçe uly bolsa, şonça-da dürli prosesler çalt geçýär.

Házirki wagtda materiallary ownatmak üçin göwrümi boýunça  $2 \text{ m}^3$  çenli bölekleri alyp bolýan şekli owradyjylardan başlap, bölejikleriň ölçegleri  $0,1 \text{ mk}$  çenli bolan bölejiklere owradýan kolloid degirmenlerine çenli bolan dürli görnüşdäki maşynlar ulanylýar.

Owratmaklyk we üwemeklik ownatma derejesi bilen kesgitlenýär. Ol, materialyň uly bölekleriniň owratmazdan öňki diametriniň  $d_b$ , owratmadan soňky dimetrine  $d_a$  gatnaşygyny aňladýar:

$$i = d_b / d_a$$

Başlangyç we ahyrky iň uly ölçeglere baglylykda, ownatmaklygyň aşakdaky görnüşleri tapawutlandyrylýar:

Ownatmaklyk	$d_b$ , mm	$d_a$ , mm	Ownatma derejesi
Iri (döwme)	1500-150	250-40	2-6
Ortaça (döwme)	250-40	40-6	5-10
Ownuk (döwme)	26-3	6-1	10-50
Inçe (döwme)	10-1	$1-75 \cdot 10^{-3}$	~100
Aşa inçe (döwme)	12-0,075	$75 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-4}$	-

Iri we ortaça döwmede düzgün boýunça gury usul, ownuk we üwemeklik bolsa hem gury, hem öl (çyg) usulynda (suw gurşawynda) geçirilýär. Öl usulynda tozan emele

gelmesiniň önüni alynýar we alynýan önümiň ölçegi gyrađeň ölçegde alynýar. Şeýle hem önümiň çykarýlmasy ýeňilleşýär.

Tásir edýan mehaniki güýji saýlap almaklyk materialyň portlygyna we berkligine bagly. Gysylanda gatylyk çäGINE baglylykda materiallar aşakdaky görnüşlere bölýärler:

	$\sigma$ , kgg/sm <sup>2</sup>	$\sigma$ , Mn/m <sup>2</sup>
Gaty (granit, diabaz we başgalar)	500- den ýokary	50- den ýokary
Orta gatylykly ( hek daşy, daş duzy, antrasit we başgalar)	100-500	10-50
Ýumşak (kömür, toýun we başgalar)	100-den aşak	10-den aşak

Adatça materialy ownadanlarynda, dürli görnüşdäki güýçler bilelikde ulanylýar. Mysal üçin, gysmak we urmak, sürtmek we urmak.

Kiçeltmeklik esasy iki sany çyzgy boýunça ýerine ýetirilýär:

1. açyk sikl
2. ýapyk sikl

Birinji çyzgy boýunça, material derirmenden bir gezek geçýär, ýapyk siklde bolsa materialyň köp bölegi degirmenden birnäçe gezek geçýär. Sebäbi, rugsat berilmeýän ölçegde bolan material degirmene gaýtarylyp berilýär. Bu bolsa döwüjiniň ýa-da degirmeniň ownadylan materialy ululyklary boýunça bölüjiler bilen birleşdirmek ýoly arkaly gazanylýar.

**Ownatmaklygyň görnüşlerine baglylykda dürli maşynlar ulanylýar:**

<b>Ownatmaklygyň görnüşleri</b>	<b>Maşynlaryň görnüşleri</b>
Iri döwme	Şekli döwüji Konusly döwüji
Ortaça döwme	Konusly döwüji

	Walkaly döwüji
Ownuk döwme	Walkaly döwüji Çekiçli döwüji Urujy-merkezden aýlanýan döwüji we gegirmen
Inçe döwme	Urujy-merkezden aýlanýan döwüji we degirmen Deprekli döwüji Rolikli-halkaly döwüji
Aşa inçe döwme	Silkeýji degirmenler we döwüji Akymly-silkeýji döwüji Kolloid degirmenleri

Ownatma prosesi köp mukdarda energiýany harçlamak bilen baglanyşykly. Şonuň üçin, başlangyç material ownatma prosesine berilmezden öň ölçegleri boýunça böleklere (klasa) bölýärler. Şeýlelikde, energiýanyň az harçlanmagyny, aşa owratmazlygy we ölçegleri boýunça gyradeň önümleri almaklygy gazanylýar.

Energiýanyň harçlanmasy ownatma prosesini hásiýetlendirýär. Ownatmaklyga harçlanýan energiýany, ownatma nazarýetinden kesgitlese bolýar. Házirki wagtda iki nazarýet bolup, ol aşakdakylardan ybarat:

1. üst
2. göwrüm

Rettinger tarapyndan hödürlenlen üst nazarýeti, ownatmadaky iş, materialyň üstüniň bozulmagy boýunça molekulalaryň dartyлма güýjini ýeňip geçmek üçin harçlanýar.

Materialyň bölekleriniň udel üsti aşakdaky deňleme boýunça aňladylýar:

$$A = K ((1 / d_a) - (1 / d_b))$$

1874-nji ýylda W.L.Kirpiçew, soňra 1885-nji ýylda Kik tarapyndan hödürlenlen göwrümleýin nazarýet, materialy bozmak üçin owratmada iş, deformasiýa harçlanýar. Munda iş çäkli deformasiýany gazanmak üçin harçlanýar.



Guk kanunyndan ugur alyp, materialy gysmada deformasiýa üçin harçlanýan işi aşakdaky gatnaşyk boýunça hasaplap bolýar:

$$A = \sigma_w^2 \Delta V / 2 E$$

bu ýerde  $\Delta V$  – bozmadan öň deformasiýa netijesinde materialyň bölekleriniň göwrüminiň kiçelmegi,  $\text{sm}^3$ ;  $E$  – materialyň çyýelik moduly,  $\text{kg}/\text{sm}^2$ ;  $\sigma_w$  – gysylma, wagytlaýynça garşylyk,  $\text{kg}/\text{sm}^2$ .

3. Iri ölçeglerde döwmeklikde, şekli we konusly döwüjiler ulanylýar. Bu döwüjilerde materiallary iki sany hereket edýän we hereket etmeýän şekleriň kömegi bilen gysmak arkaly ýerine ýetirilýär. Bularyň esasy aýratynlyklary olaryň ýönekeýligi, gurluşy boýunça ynamdarlygy we giňden ulanylmagy, hyzmat etmekde ykjamlylygy we ýeňil bolmagydyr.

Döwüji täsiriniň yzygider häsiýeti we hereket edýän materialyň deňagramlylygynyň doly bolmanlygy, ses we titretmäni (wibrasiýa) berýär. Bu bolsa, ol apparatlaryň kemçiligine degişli.

Konus şekilli döwüjiler, içki hereket edýän we daşky hereket etmeýän döwüji konuslaryň biri-birine ýakynlaşmasy bilen ownatmaklyga esaslanandyr. Konus şekilli döwüjiler niýetlenişi boýunça iri, orta we ownuk döwüjilere bölünýärler. Konus şekilli döwüjiler, şekli döwüjiler bilen deňeşdirlende, ýokary öndüriligi bilen tapawutlanýarlar.

Kemçiliklerine bolsa, çylşyrymly we gymmat gurluşlary, ýokary beýikligi, has çylşyrymly hyzmat etmesi degişlidir.

Orta we ownuk döwmeklik wally, urujy-merkezden aýlanýan maşynlarda amala aşyrylýar. Wallar çoýundan ýasalýar. Olaryň aýlaw tizlikleri 2 – 4,5 m/sek deň.

Senagatda wally döwüjiler wallarynyň sany boýunça bir- we köp wally bolup bilýärler.

4. Gaty materiallaryň tokgalarynyň ölçeg ululyklarynyň mehaniki ýol arkaly kiçeldilme prosesine *ownadylma* diýilýär.

Materialyň iri tokgalarynyň uşadylmagyna *owradylma* diýip atlandyrylýar, ownuk-uşak tokgalarynyň ownadylmagyna bolsa *üweme* diýilýär.

Harç edilýän energiýanyň möçberi, maşynlaryň (owradyjlaryň) abatlama we çalt hatardan çykan şaýlaryny çalyşma bahalary boýunça – ownadylma in gymmat düşýän prosesleriň biridir. Şonuň üçin hem her uşadylan materialy synagdan geçirmelidir. Şundan ugur alyp, ownadylan materialyň her biri üçin döwlet standarty (TDS) bar. Meselem, eger-de material gaýtadan owradylan we döwlet standartyna laýyk gelmeýän bolsa, ýagny onuň owradylmagyna has köp energiýa harç edilse, onda bu önümiň özüne düşýän bahasy ýokarlanar.

Owradyjy maşynlaryň işiniň esasy görkezijisi *owradylma derejesidir*. Owradylma derejesi – munuň özi başda alnan materialyň tokga bölekleriniň kese kesiginiň ölçegleriniň ol materialyň owradylandan soňky tokgalarynyň kese keseginiň ölçegleriniň ululyklaryna bolan gatnaşygydyr.

Owradylmanyň hiline baha bermek üçin elekleýin seljerişi ulanyp, materialyň tokgalarynyň garyndysynyň  $d_{ort}$  ortaça diametri boýunça owradylma derejesini kesgitlemek kabul edilýär:

$$d_{ort} = d_1 \cdot x_1 + d_2 \cdot x_2 + d_3 \cdot x_3 / x_1 + x_2 + x_3 = \sum d_n \cdot x_n / 100 \quad (1)$$

bu ýerde  $x_1, x_2, x_3 \dots$  - her fraksiýanyň massalaýyn prosenti ( $\sum x = 100\%$ )

$d_1, d_2, d_3$  – elekleýin seljerişiň aýratyn alnan fraksiýalarynyň zerileriniň (däneleriniň) ortaça ölçegleri, ýagny iki elegiň: berlen fraksiýanyň hemme zireleri içinden geçen in ýakyn ýokarky elegiň we şol fraksiýanyň zireleri saklanyp galan elegiň deşikleriniň ölçegleriniň ýarym jemi.

Owradylma prosesi köplenç birnäçe sapa geçirilýär, şunlukda onuň:

- 1) 200 mm-den 3 mm-e çenli – *gödek ownadylma* ýa-da *owradylma*,
- 2) 3 mm-den 0,1 mm-e çenli – *maýda ownadylma* ýa-da *üwelme* görnüşleri kabul edilen.

Ürgün materiallaryň tokgalarynyň ýa-da zireleriniň ölçegi boýunça bölünmegine *materiallaryň klassifikasiýasy* diýilýär.

1. Elekden geçirme – munuň özi mehaniki klassifikasiýadyr, eleklerde elegiň iç ýüzüniň deşiklerinden kesgitli bir ölçegden kiçi gelýän tokgalar geçýärler, galanlary bolsa, elegiň üst ýüzünde (içinde) galýarlar.
2. Gidrawliki klassifikasiýa – garyndylaryň suwda birmeňzeş deň çökme tizlikleri bolan zireleriň fraksiýalaryna (zirelerine) bölünmegidir.
3. Howa separasiýasynda garyndy howada birmeňzeş deňaşak gaçma

tizlikleri bolan zireleriň fraksiýalaryna bölünýär.

Elekden geçirme – bu klassifikasiýanyň has ähli taraplaýyn (uniwersial usulydyr). Ol tokgalary dürli (250 mm-den 1 mm-e çenli) irlikdäki materiallary bölmek üçin ulanylýar.

Klassifikasiýa goşmaça operasiýa hökmünde materialy owradylmaga deslapky (uşak materiallary aýyrmakda ýa-da biçak iri-uly materialy ikinji gezek ownadylmaga gaýtarmak üçin), şeýle hem özbaşdak operasiýa biçak iri-uly materialy ikinji gezek ownadylmaga gaýtarmak üçin), şeýle hem özbaşdak operasiýa hökmünde – kesgitli berlen zire düzümi bolan taýyn önümi almakda ulanylýar.

Klassifikasiýa elekleyin seljerişde, ýagny materialyň zireleyin düzümini kesgitlemekde giňden ulanylýar. Meselem, aýlanýan okly (wally) owradyjydan geçenden soň, owradylan kerpijiň 2 mm deşikli elekdäki galyndysy 20%-den köp bolmaly däl. Elekleyin seljerişiň geçirilmegi netijesinde

deşikleriň giňligi 2 mm bolan elekde galan jemleýin galyndynyň 15%-digi kesgitlenildi. Berlen tehniki şertlere görä şol elekde galan galyndy 20%-den köp bolmaly däl, diýmek, owradyjynyň wallarynyň gurnalyşyny kanagatlanarly hasaplasa bolar. Eger-de elekdäki galyndy 20%-den köp bolan halatlarynda material uşagrak owradylar ýaly owradyjynyň wallaryň arasyny biraz daraltmaly bolardy. Tersine, elekdäki galyndy has az (meselem 10%-e çenli) bolsa onda materialyň zireleriniň ölçegleri onçakly kiçi bolmazlygy üçin we takmynan 2 mm-e laýyk bolar ýaly owradyjynyň wallarynyň arasyny biraz açmaly.

## **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 gidromekanikanyň kanunlary bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin hem bu proseslere ***gidromehaniki prosesler*** diýilýär.

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

***Gidrostatika*** dynçlyk ýagdaýyndaky deňagramlylygyň kanunlaryna, ***gidrodinamika*** bolsa, 1 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 sesiň 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 dykzlyklaryny 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 tilsimatýň proseslerini we apparatlaryny hasaplamak üçin bilmekligi zerur bolan suwuklyklaryň esasy häsiýetleri aşakdaky görnüşlere bölünýärler.

**Dykzlyk we üleşleýin (udel) agram.** Suwuklygyň göwrüm birliginiň massasyna **dykzlyk** diýilýär we  $\rho$  arkaly belgilenýär:

$$\rho = \frac{M}{V}, \quad (1)$$

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

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

Suwuklygyň agram birligine **udel agram** diýilýär we  $\gamma$  harpy bilen belgilenýär, ýagny:

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

Massa we  $G$  agram özara gatnaşyk boýunça baglanyşandyrlar, bu ýerde

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

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

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

$$\square = \square \cdot g. \quad (3)$$

Damja suwuklyklaryň dykzlygy we udel agramy maýyşgak suwuklyklaryň (gazlaryň) deňişli häsiýetnamalaryna garanynda ep-esli ýokarydyr we basyşyň täsiri astynda ýa-da temperatura üýtgände deňeşdirilende az üýtgeýär. Gazlaryň dykzlygy takyklygyň 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  $1 \text{ kmol}$ -nyň massasy,  $kg/kmol$ ;  $R$  - uniwersal gaz hemişeligi,  $R = 8314 \text{ J/(kmol} \cdot \text{grad)}$ , MKGGS ulgamynda  $R = 848 \text{ kgg} \cdot \text{m/(kmol} \cdot \text{grad)}$ .

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 suwuklygyň göwrüminiň içindäki käbir elementar  $\square F$  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,  $\square P$  deň bolan käbir güýç bilen basar. Oňa **gidrostatiki basyşyň güýji** diýilýär. Gatnaşyk bolsa, ortaça gidrostatiki basyşdyr, bu gatnaşygyň  $\square F \square 0$  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.) sütüniniň  $H$  beýikliginiň birliginde-de aňladylýar.  $N/m^2$ -da (ýa-da  $kgg/m^2$ -da) we suwuklygyň sütüniniň 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.=

$1,033 \text{ kgg/sm}^2 = 101300 \text{ N/m}^2 = 101300 \text{ Pa}$ ;

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

$1 \text{ kgg/sm}^2 = 100000 \text{ N/m}^2 = 98100 \text{ Pa}$ .

Basyşy ölçeýän abzallar (manometrler ýa-da wakuummetrler) ýapyk göwrümiň içindäki absolýut basyşy  $P_{\text{abs}}$  däl-de, eýsemabsolýut we atmosfera, ýa-da barometrik  $P_{\text{atm}}$  basyşyň tapawudyny görkezýärň Bu tapawuda, eger-de göwrümdäki basyş atmosfera basyşyndan ýokary bolsa, oňa **agdyklyk**  $P_{\text{agd}}$ , **basyşy**, atmosfera basyşyndan pes bolsa, onda oňa **boşluk** (wakuum)  $P_{\text{wak}}$  **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.

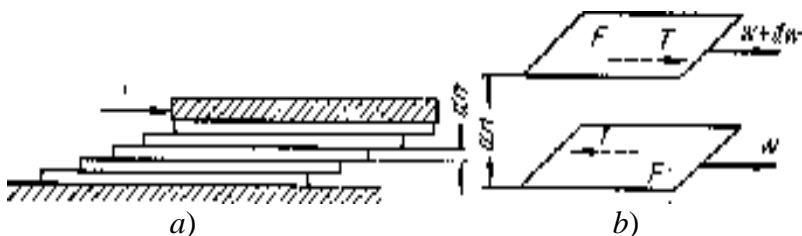
### Süýgeşikligiň görnüşleri

**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 gorizontaal ýagdaýdaky plastinalaryň arasyndaky gatlagyny göz önüne getireliň (sur. 1, *a*). Ýokarky plastinany aşaka görä gorizontaal tekizlikde üýtgewsiz 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.



**Surat. 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  $\mu$  – proporsionallyk koeffisiýenti.

Suwuklygyň içinde dörän garşylyk güýji goýlan  $T$  güýje deňdir we garşylykly tarapa ugrukdyrylandyr. Bu güýjüň gatlaklaryň galtaşma üstüne bolan gatnaşygyny  $\mu$  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 çykýan içki sürtülmäniň dartgynlygy tizlik gradiýentine göni proporsionaldyr.*

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

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

**Dinamiki süýgeşiklik** ( $\mu$ )) diýip bir birinden 1 *sm* daşlykda ýerleşýän we 1 *sm/sek* tizlik bilen hereket edýän 1 *sm*<sup>2</sup> 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

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

sPz.

MKGGS ulgamynda 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 birlihi we SGS ulgamynyň gatnaşygy:

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

Kä halatlarda suwuklygy süýgeşikligiň kinematiki koeffisiýenti ýa-da kinematiki süýgeşiklik bilen häsiýetlendirýärler. Munuň özi şol bir temperaturada

suwuklygyň dinamiki ( $\square$ ) süýgeşikliginiň onuň  $\square\square$  dyklygyna bolan gatnaşygydyr:

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

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

HU ulgamynda kinematiki süýgeşiklik *m*<sup>2</sup>/*sek*-da ölçenilýär (1 *m*<sup>2</sup>/*sek* = 10<sup>4</sup> *st*).

**Sertleýin süýgeşiklik** Engler graduslarynda aňladylýar. Engler graduslarynyň sany diýip berlen temperaturada synag edilýän önümiň 200 *ml*-iniň Engler wiskozimetrinden dökülen wagtyň 20°C temperaturada distilirlenen suwuň 200 *ml*-niň dökülen wagtyna bolan gatnaşygyna aýdylýar.

Süýgeşikligi  $m > 1 \text{ sPz}$  (*santipua*) bolan suwuklyklar üçin Engler graduslaryndaky birlikden tehnikiki birliklere geçmek üçin aşakdaky formuladan peýdalanylýar:

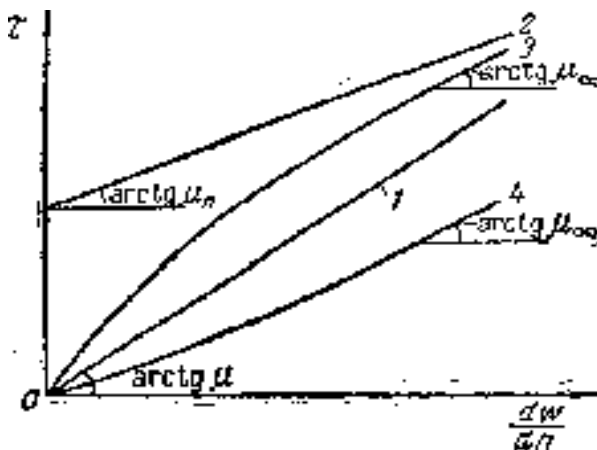
$$\mu = \left( 7,24 \cdot E - \frac{6,25}{E} \right) \cdot \frac{\rho}{10^5}. \quad (14)$$

Suwuklyklar *nýuton* we *nýuton* suwuklyklaryna degişli bolmadyk görnüşlere bölünýärler.

Nýutonyň kanunyna boýun egýän suwuklyklara normal ýa-da **Nýuton suwuklyklary** diýilýär. Nýutonyň kanunyna boýun egmeýän suwuklyklara **Nýuton suwuklyklaryna degişli bolmadyk suwuklyklar** diýilýär, olara anomal häsiýetler mahsusdyr.

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

Nýuton suwuklyklaryna degişli bolmadyk suwuklyklar üçin süýşme dartgynlygynyň ( $\square$ ) 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).



**Surat. 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 ( $\square$ ) 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  $\frac{dw}{dn} = f(\square)$  wagtda garaşly däldir.

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

### Suwuklyklaryň görnüşleri

a) **Plastik bingam suwuklyklary.** Süýsmegiň kiçi  $\square\square$  dartgynlyklarynda olar diňe biraz deformirlenýärler we diňe  $\square_0$ -yň **akyjylyk çägi** (*predeli*) diýip atlandyrylýan käbir bahasynda akyp başlaýarlar. Akyp başlanmaka suwuklygyň berk strukturasy dargap başlaýar we  $\square > \square_0$  bolanda bolsa bingam suwuklyklary Nýuton suwuklyklary ýaly akýarlar. Dartgynlygyň, tersine,  $\square < \square_0$  baha çenli peselmeginde bingam suwuklyklary gaýdymly dikelýärler.

**Bingam suwuklyklarynyň** hataryna örän goýy suspenziýalar, pastalar we şlamlar degişlidirler, olaryň akym egri çyzygynyň deňlemesi aşadaky görnüşde bolýar:

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

bu ýerde  $\square_p$  – plastiki süýgeşiklik diýip atlandyrylýan proporsionallyk koeffisiýenti.

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

b) **Pseudoplastik\* suwuklyklar** Nýuton suwuklyklary ýaly eýýäm  $\square$ -nyň ujypsyzja bahalarynda akyp başlaýarlar, emma bu suwuklyklar üçin hyýaly süýgeşiklik diýip atlandyrylýan  $\square_h$  süýşme dartgynlygynyň tizlik gradiýentine bolan gatnaşygy ululyga garaşlydyr (sur.2, 3-nji egri çyzyk).  $\square_h$  ululyk  $\frac{dw}{dn}$ -iň bahasy ulaldygyça kiçelýär, we akymyň egri çyzygy hemişelik predel  $\square \square$  ýapgytlykly (ummasyz uly süýşmedäki 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.

---

\*) **Pseudo** - goşulmasy *galp, emeli, ýalan, hyýaly* diýen manylary berýär.

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

Pseudoplastik suwuklyklar, meselem, polimerleriň aglabasynyň erginleri ýa-da asimmetrik bölejikli suspenziýalar üçin  $\square_3$ -niň üýtgeýşi köplenç olaryň bölejikleriniň (molekulalarynyň) suwuklygyň göçýän ugruna tarap ugrukdyrylmagy (orientasiýasy) bilen baglanyşyklydyr.

Çuňlukda polimerleriň molekulary süýşmäniň ep-esli tizliklerinde biri beýlekisine süýnen zynjyrlara meňzeýär-ler.

Netijede  $\frac{dw}{dn}$  we  $\square\square$  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  $\square$  -nyň arasyndaky

baglylyklary wagt aralygynda üýtgeýän nýuton suwuklyklaryna deňişli bolmadyk suwuklyklar deňişlidir. 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 strukturasyňa 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 deňişlidir. 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 akjylygynyň peselmegi bilen tapawutlanýarlar.

Üçinji topara dartgynlygyň täsiri astynda akyň 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 konsistensiýaly 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 düwmekçikleri 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 dartylma*, ýa-da *üst dartylmasy* diýilýär we  $\square$  harpy arkaly belgilenýär.

Üst dartylmasy aşakdaky birliklerde aňladylýar:

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

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

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

Adatça, temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kiçelýär. Ol maglumat ululygydyr.

**3. Hidrostatika** – munuň özi deňagramlykdaky ýa-da dynçlykdaky suwuklyklary öwrenýän ylymdyr. Suwuklyk *absolýut* ýa-da *görüleýin* (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 barabanynyň içinde we ş.m.-lerde suwuklyk otnositel dynçlykda durýar. Şuňa meňzeş ýagdaýlarda dynçlyk hereket edýän gabyň diwarlaryna görä (otnositel) seredilip geçilýär.

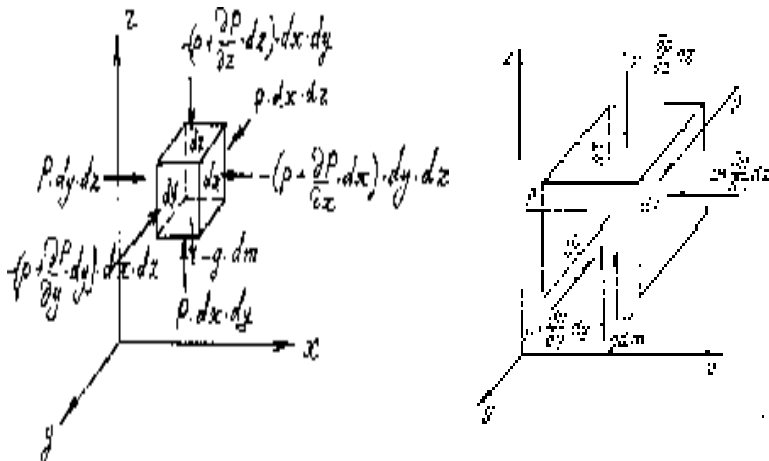
### **Eýler deňagramlylyk differensial deňlemeleri**

Dynçlyk ýagdaýynyň görnüşlerine garamazdan suwuklyga agram we gidrostatiki basyşyň güýçleri täsir edýär. Bu güýçleriň arasyndaky gatnaşyklary kesgitlemek zerurudyr

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 göwrümli parallelipedde (sur. 3) seredip geçeliň, Bu elementar göwrüm üçin çykarylýan deňlemelere **Eýler deňagramlylygynyň deňlemeleri** diýilýär.



**Surat. 3.** Eýler deňagramlylyk deňlemeleriniň çykarylýşyna degişli

Parallelipedde täsir edýän agyrylyk güýji  $dm$  massanyň  $g$  erkin aşak gaçmagyň tizlenmesine köpeltmek hasylyna deňdir:

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

Mundan başga-da elementar parallelipediniň ähli taraplaryna  $P$  gidrostatiki basyşyň güýji täsir edýär. Ol bolsa, gidrorawliki  $p$  basyşyň elementar parallelipediniň 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. Parallelopipede 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  $m = \square \cdot V$  formulasynyň  $dm = \square \cdot dV$  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)  $\square P$  basyşyň üýtgemesi bolup geçmeýär, diýmek,  $x$  we  $y$  oklary boýunça basyş hemişelikdir (üýtgewsizdir). Başgaça aýdylanda, basyş  $x$  we  $y$  tekizlikleriň islendik nokadynda birmeňzeşdir.

### 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 (proizwodnyny) 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  $\square \cdot g$  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 jemini jemiň differensialy görnüşde aňladalyň, ýagny

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

Integrirläp alarys:

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

Iki sany islendik gorizontalk tekizlik üçin

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

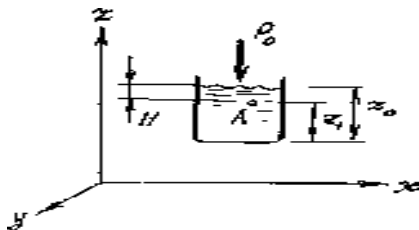
Alnan(19) we (20) deňlemelere **gidrostatikanyň esasy deňlemeleri** diýilýar.

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

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

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

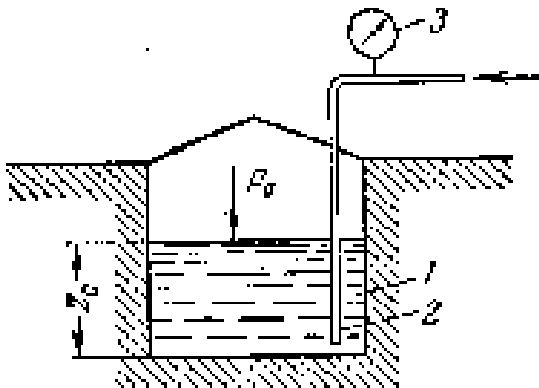
$$P_1 = P_0 + \rho \cdot g \cdot H \quad (22)$$



Surat. 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 çykýar.

**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.



**Surat. 5.** Suwuklygyň derejesini pnevmatik ölçýji

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 sütüniň garşylygyny ýeňip geçende we suwuklygyň içinden düwmejikler görnüşinde geçip çykyp (barbotirläp) başlanda, 3 manometriň görkezýän  $P$  basyşy ýokarlanmagyny bes edýär we (18) deňlemä laýyklykda

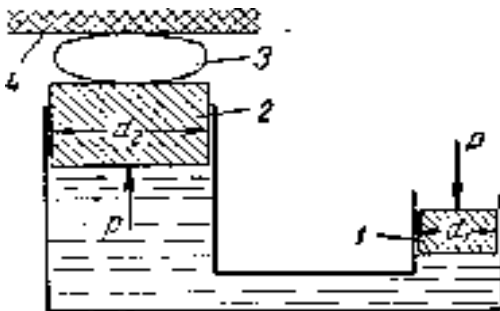


$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot z_0 - z_1$  deň bolar, bu ýerden rezerwuardaky suwuklygyň derejesi

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

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 silindrde hereket edýän 2 porşene-de täsir eder (basar).



**Surat. 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) **ічки** – suwuklyklaryň turbalaryň ýa-da kanalyň içinden akyp geçmegi derňelip anyklanylýar;

2) **даşкы** – 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 görnüşli 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  $\rho$  - 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,  $\rho$  dykzlyga,  $\mu$  süýgeşiklige we beýleki häsiýetlere ýeeder. Bir nokatdan başga bir nokada geçende bu parametrlr üýtgäp bilýärler we koordinatalaryň üznüksiz funksiýalarydyr (sur. 7 seret)

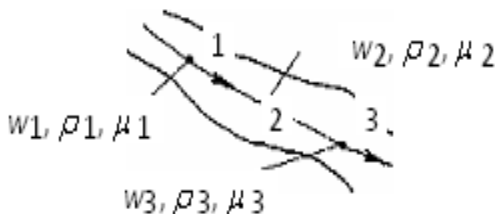
$$w = f(x, y, z)$$

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

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

$$\text{ýa-da} \quad w = f(x, y, z). \quad (27)$$

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



Surat. 7.

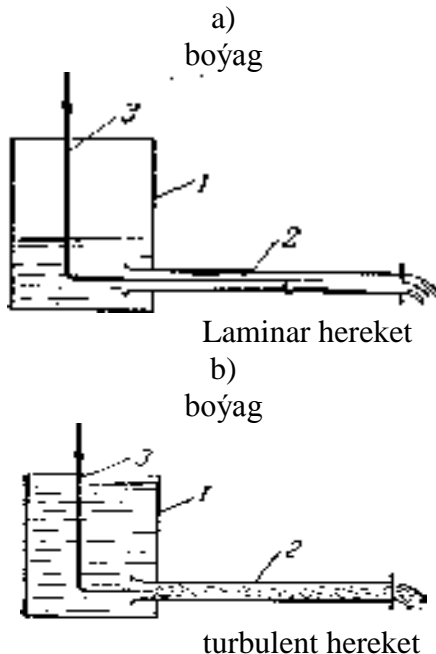
**Kadalaşmadyk akym toplumynda**, stasionar akym toplumyndan tapawutlylykda, suwuklygyň hereketine täsir edýän faktorlar wagta görä üýtgeýärler. Meselem, kesgitli bir ugra hereket edende, suwuklygyň islendik

nokatdaky tizligi diňe bir giňişlik ol nokadyň  $x$ ,  $y$  we  $z$  koordinatlarynyň funksiýasy bolnan,  $\square\square$  wagtyň hem funksiýasydyr, ýagny  $w = f(x, y, z, \square\square)$ .  $\square$  Diýmek sunlukda

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} \neq 0.$$

### **Suwuklygyň hereketiniň akys kadalary (režimleri).**

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



**Surat. 8.** Reýnolds tejribesi

a) laminar hereket;

b) turbulent hereket

1- suwuklykly gap; 2 - içi görünyän (çüýşeden) 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 çäkden 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  $\square \cdot w$  massalaýyn tizligi hem-de turbanyň  $d$  diametri näçe köp boldugyça we suwuklygyň  $\square \square$  süýgeşikligi näçe kiçi boldugyça sonça-da ýeňil geçýär. Reýnolds agzalan ululyklary san bahasyna görä suwuklygyň akýş kadasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän  $w \cdot d \cdot \square / \square \square$  ötçegsiz 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.

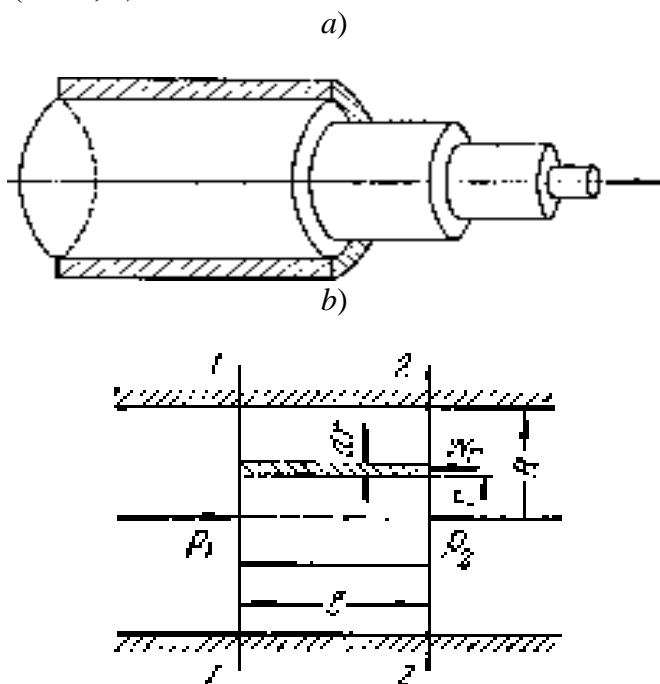
Reýnolds kriteriýasy hereket edýän akym toplumyndaky süýgeşiklik we inersiýa güýçleriniň gatnaşygynyň ölçegidir.

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

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*).



**Surat. 9.** Laminar hereketde 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:

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

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;  $\pi \pi$  – 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 göwrümine geçip, deňlemäniň çep tara-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  $dS = 2 \cdot \square \cdot r \cdot dr$  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:

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot \int_0^R (R^2 - r^2) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr = \frac{p_1 - p_2}{4 \cdot \mu \cdot l} \cdot \left( 2 \cdot \pi \cdot R^2 - 2 \cdot \pi \cdot \int_0^R r^2 \cdot dr \right) =$$

$$= \frac{p_1 - p_2}{8 \cdot \mu \cdot l} \cdot \pi \cdot R^4. \quad (32)$$

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 **Puazeyl deňlemesi** ady bilen bellidir.

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

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

bu ýerden

$$w = \frac{p_1 - p_2}{8 \cdot \mu \cdot l} \cdot R^2 \quad (34)$$

(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.*

Değişlilikde (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*).

### **Turbulent akym toplumynyň käbir häsiýetnamalary**

Senagat tejribeliginde has giňden ýaýrany suwuklyklaryň turbulent hereketidir.

Turbulent hereketde bölejikleriň haotiki hereketi sebäpli akym toplumynyň umumy massasynda tizlikleriň deňlenmesi bolup geçýär we olaryň turbanyň kese kesigi boýunça paýlanyşy durkuna (formasyna) görä para-boladan (laminar herekete mahsus – sur. 10, *a*) tapawutlanýan egri çyzyk bilen häsiýetlendirilýär; egri çyzygyň depesi ep-esli derejede has giňdir (sur. 10, *b*):



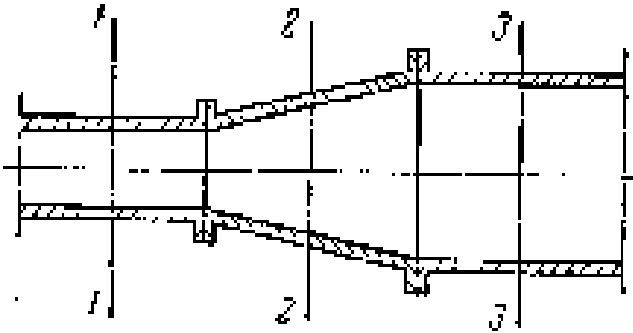
**Surat.10.** Hereketiň dürli reziminde tizlikleriň paýlanyşy:

- a*) laminar akymtoplumy; *b*) turbulent atym toplumy;
- c*) gidrodinamik araçäkleýin gatlak

## Akym toplumynyň arasy kesilmezliginiň üznüksizliginiň(bütewiliginiň) deňlemesi

Bu deňlemi gidrodinamikanyň birinji esasy deňlemesidir. Damja suwuklygynyň akym toplymy şeýle bütewi ýa-da üznüksiz diýip içinde suwuklyk bilen doldurylmadyk boşlugy, şeýle hem aşa dykyz ýerleri bolmadyk akym toplumyna aýdylýar.

Akym toplumynyň görümleriniň harçlanyşynyň iki dürli kesik üçin üç görnüşiniň bolmagy mümkin. (Sur.11):



**Surat.11** Harçlanmagyň hemişelikliginiň deňlemesiniň çykarylýşyna degişli.

1.  $Q_1 > Q_2$  – aşa dykyzlanma;
2.  $Q_1 < Q_2$  – boşluk döremegi ;
3.  $Q_1 = Q_2$  – üznüksizlik bozulmaýar.

Çaklamardan görnüşi ýaly, akym toplumynyň kesilmazliginiň şerti biri-nji we ikinji ýaglaýlarda bozulýar, sebäbi akym toplumynyň aşa dykyzlan-magy (1) ýa-da boşluk ýüze çykýar.

Diýmek, kese kesiginiň meýdany üýtgeýän turbageçirinjidüki akym toplumynyň üznüksizliginiň üpjün

Kese kesigi üýtgeýän turbageçirinjiden (sur.11) kesilmeýän (üznüksiz we boşluksyz) akym toplumynda, üç dürli kese kesil 1-1, 2-2 we 3-3 üçin alarys:

$$\square\square\square\square M_1=\square M_2=\square M_3, \quad (35\text{ a})$$

$M = \square \cdot w \cdot S$  – suwuklygyň massalaýyn harçlanyşy,  $kg/sek$ .

Bu deňlemä görä, turba geçirijini goly doldurýan suwaklygyň kadaşan hereketinde, turba geçirijiniň her bir kese kesiginden wagt birliginde suwaklygyň şol bir mukdary geçýär.

Damja suwuklyklar üçin  $\square_1 = \square_2 = \square_3 = \square = const$ , onda  $w \cdot S = const$ .

# Diýmek

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = const, \quad (36a)$$

bu ýerde  $Q = w \cdot S$  – suwuklygyň göwrümleýin harçlanylysy,  $m^3/sec$ .

Şu ýerden turbageçirijiniň dürli kese kesiginde damja suwuklyklarynyň tizlikleriniň bu kese kesikleriň meýdanlaryna ters proporsionaldygy gelip çykýar.

Deňlemeler (35), (35a), (36) we (36a) *gidrodinamikanyň 1-nji deňlemeleridir*.

### **Hereketiň esasy deňlemeleri** **Hereketiň Eýler differensial deňlemeleri**

İdeal suwuklygyň sürtülmesiz hereket edýän kadalaşan akym toplumyna seredip geçeliň. Deňagramlylygyň Eýler differensial deňlemelerini çykarylyşyndaky ýaly koordinat oklaryna görä ugrukdyrylan (oriýentirlenen)  $dV = dx \cdot dy \cdot dz$  göwrümi bolan elementar parallelopipedi akym toplumyndan bölüp alalyň.

Ýokarda aýdylyşy ýaly parallelopipede täsir edýän agyrlyk we basyş güýçleriniň koordinat oklaryna bolan proyeksiýalary:

$x$  oky üçin

$$-\frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz ;$$

$y$  oky üçin

$$-\frac{\partial p}{\partial y} \cdot dx \cdot dy \cdot dz ;$$

$z$  oky üçin

$$-\left( \rho \cdot g - \frac{\partial p}{\partial z} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz .$$

Dinamikanyň esasy prinsipine laýyklykda hereket edýän suwuklygyň elementar göwrümine täsir edýän güýçleriň proyeksiýalarynyň jemi suwuklygyň massasynyň onuň tizlenmesine köpeltmek hasylyna deňdir.

Parallelopipediň göwrüm massasy

$$dm = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz.$$

Eger-de suwuklyk w tizlik bilen hereket edýän bolsa, onda onuň tizlenmesi , tizlenmäniň koordinatlar okuna bolan proyeksiýalary bolsa:, we , bu ýerde  $w_x$ ,  $w_y$  we  $w_z$  – degişlilikde  $w$  tizligiň  $x$ ,  $y$  we  $z$  oklaryň ugry boýunça düzüjileri.

Dinamikanyň esasy prinsiplerine laýyklykda

$$dx \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{dw_x}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

$$\rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{dw_y}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial y} \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

$$\rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot \frac{dw_z}{d\tau} = -\left( \rho \cdot g - \frac{\partial p}{\partial z} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

ýa-da gysgaldyp hereketiň Eýler differensial deňlemelerini alarys:

$$\left. \begin{aligned} \rho \cdot \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \cdot \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \cdot \frac{dw_z}{d\tau} &= -\left( \rho \cdot g - \frac{\partial p}{\partial z} \right) \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

DinamEýler differensial (37) deňlemesi ideal suwuklyklara degişlidir, real suwuklyklary bolsa Nawýe-Stoks deňlemesi teswirleýär.

## Hereketiň Nawýe-Stoks differensial deňlemeleri

Real suwuklyga süýgeşiklik mahsus bolansoň, oňa içki sürtülme güýçleri täsir edýärler.

Sürtülmäniň deňtäsirli güýçleriniň koordinatlaryň  $x$  okuna bolan proyeksiýasy

$$\mu \cdot \left( \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz.$$

Koordinata oklaryna görä ikinji ömümleriň (proizwodnylaryň) jemine **Laplas operatory** diýilýär:

$$, \quad \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} = \nabla^2 \cdot w_x \quad \text{ýagny bu ýerde}$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

onda, sürtülmäniň güýçleriniň deňtäsir edijisiniň koordinat oklara proyeksiýasy:

$$x \text{ okuna} \quad \square \cdot \square^2 \cdot w_x \cdot dx \cdot dy \cdot dz;$$

$$y \text{ okuna} \quad \square \cdot \square^2 \cdot w_y \cdot dx \cdot dy \cdot dz;$$

$$z \text{ okuna} \quad \square \cdot \square^2 \cdot w_z \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

bolar.

Damja suwuklyklaryň elementar göwrümine täsir edýän ähli (agramlyk, basyş we sürtülme) güýçleriniň deň täsir edijisiniň koordinat oklaryna (Eýler deňlemesini çykarlandaky agyrlyk we basyş güýçlerini hasaba alnanda) proyeksiýasy aşakdaky ýaly bolar:



$$x \text{ okuna} \quad \left( -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot w_x \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

$$y \text{ okuna} \quad \left( -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot w_y \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

$$z \text{ okuna} \quad \left( -\rho \cdot g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot w_z \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

Dinamikanyň esasy prinsiplerine laýyklykda güýçleriň koordinat oklaryna bolan proyeksiýasynyň jemi, elementar göwrümdäki suwuklygyň  $\square \cdot dx \cdot dy \cdot dz$  massasynyň ( $\square$  – suwuklygyň dykyzlygy) tizlenmäniň koordinat oklaryna bolan proyeksiýasyna köpeltmek hasylyna deňdir. Şonuň üçin hem deň täsir edijiniň proyeksiýasyny massanyň tizlenmä köpeltmek hasylyna deňläp,  $dx \cdot dy \cdot dz$  agzalary gysgaldyp alarys:

$$\left. \begin{aligned} \rho \cdot \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot w_x \\ \rho \cdot \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \cdot \nabla^2 \cdot w_y \\ \rho \cdot \frac{dw_z}{d\tau} &= -\left( \rho \cdot g - \frac{\partial p}{\partial z} \right) + \mu \cdot \nabla^2 \cdot w_z \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Bu (2.38) deňleme süýgeşik damja suwuklygyň hereketini teswirleýän **Nawýe-Stoks deňlemesidir**.

Real suwuklygyň hereketiniň doly teswirini Nawýe-Stoks differensial (37) deňlemäni we akym toplumynyň üznüksizliginiň (kesilmezliginiň) ýa-da бүтewiliginiň (38) deňlemesini bilelikde çözüp alyp bolar.

### Bernulli deňlemesi

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

Ideal suwuklygyň hereket edýän elementar göwrümüne 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:

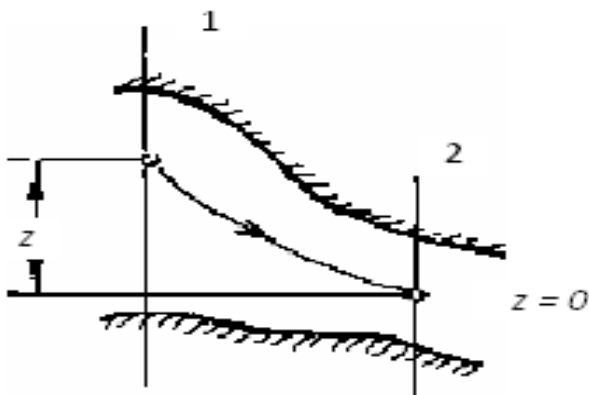
$$\underbrace{z + \frac{p}{\rho \cdot g}}_{\text{Potensial energiýa}} + \underbrace{\frac{w^2}{2 \cdot g}}_{\text{Kinetik energiýa}} = \text{const}$$

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

ýa-da ýöne *gidrodinamiki itergi* diýilýär.

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

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



Surat. 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 üleş (udel) potensial energiýasyny kesgitleýär.

$\frac{p}{\rho \cdot g}$  – statiki ýa-da pýezometriki itergi ( $h_{st}$ ), berlen nokatdaky (kese kesikdäki) basyşyň üleş 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 aňladylýar:

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

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  $h_{tizr}$  belgi bilen aňladylýar. 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:

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

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

## **Ýylylyk prosesleri we apparatlary. Esasy kesgitlemeler**

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 jisimleriň arasynda bolup geçýän energiýanyň ýylylyk görnüşde\* geçişe **ýylylyk çalyşma** diýilýär. Ýylylyk çalyşmanyň islendik prosesiniň hereketlendiriji güýji has

ýokary gyzdyrylan we has pes gyzgynlykly jisimleriň temperaturalarynyň tapawudydyr. Şeýle tapawut bolanda ýylylyk termodinamikasynyň ikinji kanunyna laýyklykda öz-özünden has gaty gyzgynlykly jisimden az gyzgynlykly jisime geçýär. Jisimleriň arasyndaky ýylylyk çalşyş molekulalaryň, atomlaryň we erkin elektronlaryň arasyndaky energiýa çalyşmasydyr; ýylylyk çalyşmagynyň netijesinde has gyzgyn jisimiň bölejikleriniň hereketiniň depginliligi peselýär, gyzgynlygy pes jisimiňki bolsa ýokarlanýar.

Ýylylyk çalşyşa gatnaşýan jisimlere *ýylylykgöterijiler* diýilýär.

**2. Ýylylyk geçiriş** – munuň özi ýylylygyň ýaýramagy barada ylymdyr. Ýylylyk geçiriş kanunlary ýylylyk prosesleriniň – gyzdyryşyň, sowadyşyň, buglaryň kondensasiýasynyň, bugartmagyň esasy 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 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) 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.

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

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

Ýylylyk geçirilmegi suwuklygyň (gazyň) göwrüminiň dürli nokatlaryn-daky temperaturalaryň tapawudynyň ýüze çykmagy netijesinde şol nokatlardaky dykzlyklaryň 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.

<sup>1</sup>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 täzededen ýene-den ýylylyga öwrülýän energiýany şöhlelendirmäge ukyplydyr. Şeýlelikde, şöhleleýin ýylylyk çalyşma amala aşyrylýar, ol **şöhlegoýberme** we **şöhlesiňdirmе** (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) göwrüme ýa-da ters ugra geçirilmegine **ýylylyk berliş** diýilýär. Mundan hem çylşyrymly proses – ýylylygyň has gyzan suwuklykdan (gazdan) pes gyzan suwuklyga olary bölýän üst ýüzden ýa-da diwardan geçişidir. Bu prosese **ýylylyk geçiriş** diýilýär.

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

Üznüksiz işleýän apparatlarda dürli nokatlardaky temperaturalar wagta görä üýtgemeýärler we bolup geçýän

ýylylyk çalyşma ***kadalaşan*** (*stasionar*) prosesdir. Periodik (üznükli, 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 hasaplanylşy aşakdakylary öz içine alýar:

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

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

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

$\tau$  Wagtda, has gyzgyn gurşawdan diwara berilýän ýylylygyň mukdaryny ýylylyk gowşurma deňlemesinden

$$Q' = \alpha_1 F \tau (t_1 - t_{\text{diw1}})$$

Diwar gatlaklaryndan ýylylyk geçirijilik ýoly bilen geçýän ýylylyk mukdary:

$$Q' = (\chi_1 / \delta_1) F \tau (t_{\text{diw1}} - t_{\text{diw}}')$$



We

$$Q' = (\chi_2 / \delta_2) F \tau (t_{diw1}' - t_{diw2})$$

Diwardan has gyzgyn gurşawa berilýän ýylylygyň mukdary

$$Q' = \alpha_2 F \tau (t_{diw2} - t_2)$$

$Q'$  üçin alnan aňlatmalary aşakdaky görnüşde ýazýarys:

$$Q' / \alpha_1 = F \tau (t_1 - t_{diw1}')$$

$$Q' (\chi_1 / \delta_1) = F \tau (t_{diw1} - t_{diw1}')$$

$$Q' (\chi_2 / \delta_2) = F \tau (t_{diw1}' - t_{diw2}')$$

$$Q' / \alpha_2 = F \tau (t_{diw2} - t_2')$$

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  $I_{1a}$ , deňşililikde has sowuk göterijiniňkini  $G_2$ , onuň başlangyç entalpiýasyny  $I_{2b}$ , ahyrkysyny  $I_{2a}$  diýip bellesek, onda ýylylyk balansynyň deňlemesi:

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

## **Massa çalyşma prosesleri we apparatlary.**

### **Esasy kesgitlemeler**

1. Bir ýa-da birnäçe maddanyň bir fazadan beýleki faza geçmegi bilen häsiýetlendirilýän massageçiş prosesleri himiki tilsimatynda giňden ýaýrandyr we ägirt uly ähmiýeti bar. Bir ýa-da birnäçe komponenti bir fazadan beýleki faza geçirmek arkaly hem geterogen, hem-de gomogen (gaz garyndylary, suwuk erginler we beýlekiler) ulgamlary (ulgamalary) bölmek mümkin. Köplenç halatlarda massa geçiş prosesleri gomogen ulgamlary (ulgamalary) bölmek üçin ulanylýar.

### **2. Senagatda:**

- gaz (bug) we suwuk fazanyň arasynda;
- gaz we gaty fazanyň arasynda, şeýle hem
- suwuk faza bilen suwuk fazanyň arasynda bolup

geçýän massageçiş prosesleri:

1. Absorbsiýa (gaz-suwuk);
2. Ekstraksiýa (suwuk-suwuk);
3. Rektifikasiýa (suwuk-gaz);
4. Adsorbsiýa (gaty-gaz);
5. Guradyş (suwuk-gaz);

6. Kristallaşdyrma (gaty-suwuk);
7. Ereýiş we ekstraksiýa (gaty-suwuk).

1. **Absorbsiýa** – gazyň suwuklyk arkaly ýuwdulmagy, ýagny maddanyň gaz fazasyndan suwuk faza geçmegi bilen häsiýetlendirilýän bölüniş prosesidir. Oňa ters proses – gazyň suwuklykdan bölünip çykmagyna desorbsiýa diýilýär.

2. **Ekstraksiýa** [suwuklyk-suwuklyk ulgamynda (ulgamynda) – suwuklykda erän maddanyň birinji suwuklyk bilen garyşmaýan ýa-da kem-käsleýin garyşýan suwuklyk arkaly bölünip alynmasydyr. Şunlukda başky erginiň bölünip alynýan komponenti bir suwuk fazadan beýleki suwuk faza geçýär.

3. **Rektifikasiýa** – gomogen suwuk garyndylaryň adatça biri-birine garşylyklaýyn hereket edýän suwuk we bug fazalaryň komponentlerini özara köpgezekleýin çalyşmagy arkaly bölünmegidir.

4. **Adsorbsiýa** – öýjükli gaty ýuwdujy arkaly gazyň, gazyň (buguň) ýa-da erginiň komponentleriniň ýuwdulmagy (siňdirilmegi), ýagny maddanyň gaz (bug) ýa-da suwuk fazadan gaty faza geçmegi bilen häsiýetlendirilýän bölüniş prosesidir. Oňa ters bolan proses – **desorbsiýa**, adsorbsiýadan soňra geçirilýär we köplenç ýuwdulan (siňdirilen) maddanyň ýuwdujydan yzyna çykarmak (regenerirmek) üçin ulanylýar.

Adsorbsiýanyň başga bir görnüşi – **ionçalyşma** – munuň özi käbir gaty maddalaryň (ionitleriň) öz hereketdäki ionlaryny elektrolitleriň erginleriniň ionlaryna çalyşmaklyk ukybyna esaslanan bölüniş prosesidir.

5. **Guradyş** – çygyň esasan ony bugartmak arkaly gaty materiallardan aýrylmagydyr. Bu prosesde çyg gaty fazadan gaz ýa-da bug faza geçýär.

6. **Kristallaşdyrys** – gaty fazanyň kristallar görnüşinde erginlerden ýa-da gyzdyrylyp eredilen erginlerden bölünip alnyşydyr. Kristallaşdyrys maddanyň suwuk fazadan gaty faza

onuň ereýjiliginiň üýtgemegi netijesinde geçmegi bilen häsiýetlendirilýär.

7. **Ereýiş we ekstraksiýa** [gaty jisim - suwuklyk ulgamynda (ulgamynda)]. Ereýiş gaty fazanyň suwuk faza (eredijä) geçmegi bilen häsiýetlendirilýär we, esasan, kristallaşdyryşa ters bolan prosesdir. Haýsy hem bolsa bir komponenti öýjükli gaty materialdan bölüp almak üçin niýetlenen saýlap alyşlaýyn ereýişe gaty maddadan ekstraksiýa ýa-da **aşgarlama** diýilýär.

Ýylylyk geçişi ýaly massageçiş hem çylşyrymly prosesdir. Ol maddanyň (massanyň) bir fazanyň çäginde (göwrümünde) geçmegini, fazalaryň özara bölünme üst ýüzünden geçmegini we onuň başga fazanyň çäginde geçişini öz içine alýar. Belli bolşy ýaly, ýylylyk geçişde ýylylyklaryny çalyşýan ulgamlar köplenç gaty diwar arkaly aralary bölünýär, massageçiş bolsa, adatça galtaşýan fazalaryň bölünme araçağginiň üstünden geçmegi bilen amala aşýar.

Maddanyň fazadan fazalaryň bölünme araçägine geçirilmegi ýa-da ýa-da ters bolan ugra geçirilmegi, ýagny haýsy hem bolsa bir fazanyň çäginde geçirilmegine **massaberliş** diýilýär.

Massageçiş proseslerini iki topara bölse bolýar. Olaryň birine – azyndan üç madda gatnaşýan prosesler (absorbsiýa, ekstraksiýa) degişlidir: birinji madda birinji fazany, ikinji madda – ikinji fazany, üçünji madda bolsa öňki agzalan fazalaryň arasynda paýlanan maddany emele getirýär. Fazalary düzýän maddalar diňe paýlanan maddany özlerinde saklaýarlar we özleri bir fazadan beýleki faza geçmeýärler. Meselem, ammiagyň howa bilen garyndysyndan ony suw arkaly siňdirilende (ýuwdulanda) suw we howa paýlanan maddany – ammiagy özlerinde saklaýarlar.

Beýleki topara iki fazany düzýän maddalar, düzüjilerini (komponentlerini) özara çalşyp massageçiş prosesine göniden-göni gatnaşmaklarynda bolup geçýän prosesler (meselem,

rektifikasiya) degışlidir we olara inert ýagdaýda paýlanýan maddany özünde saklaýjy hökmünde garap bolmaýar.

Her bir aýratyn alnan fazadaky paýlanýan madda diffuziýa arkaly geçirilýär, şonuň üçin hem massageçiş prosesine diffuzion prosesler diýlip hem atlandyrylýar.

Diffuzion prosesler üçin, ýylylyk geçiş prosesleri bilen meňzeşlikde geçirilýän maddanyň mukdary fazalaryň bölünme üst ýüzüne we hereketlen-diriji güýje göni proporsionaldyr diýlip kabul edilýär. Hereketlendiriji güýç ulgamyň (ulgamyň) paýlanýan maddanyň himiki potensiallarynyň tapawudy bilen has takyk aňladynyňan dinamiki deňagramlylygyň ýagdaýyndan gysarma derejesi bilen häsiýetlendirilýär. Fazanyň çäginde diffundirlenýän madda ýokary mukdar-möçberli (konsentrasiýaly) nokatdan pes mukdar-möçberli (konsentrasiýaly) nokada süýşýär. Şonuň üçin hem massageçiş prosesleriniň hereketlendiriji güýjüni ýylylykgeçiş prosesleriniň hasaplaýyş prosesleriniň temperaturalaryň tapawudy bilen aňladylyşy ýaly takmynan mukdar-möçberleriň (konsentrasiýalaryň) tapawudy bilen aňladylýar. Massa berliş we massageçiş prosesleriniň hereketlendiriji güýçleriniň hasaplaýyş aňlatmalary birmeňzeş däl we aýratyn seredilip geçilýär.

Gaty faza bilen baglanyşykly massageçiş prosesleri paýlanýan madda gaty fazanyň içinde geçişiniňözboluşly (spesifikasi) aýratynlygy bilen tapawutlanýar.

Massageçiş prosesleri ýuwdujy diňe bir komponent (ýada birnäçe komponenti) başga alnan garyndydan saýlap bölüp alanda we iş ýüzünde onuň beýleki komponentlerini bölüp almadyk ýagdaýynda saýlap alyjylyklydyrlar. Bu prosesleriň aglabasy gaýdymlydyr, ýagny temperatura, basyşa we onuň beýleki geçiriliş şertlerine baglylykda ters bolan ugurlarda geçiş bilýärler. Şunlukda maddanyň bir fazadan beýleki faza geçiş ugry paýlanýan maddanyň fazalardaky mukdar-möçberleri (konsentrasiýalary) we deňagramlylyk şertleri kesgitlenilýär.

### 3. Molekulýar diffuziýa.

Molekulýar diffuziýa-molekulalaryň tertipsiz ýylylyk hereketi bilen baglydyr. Ýylylyk geçirijiligi bilen meňzeşdir:

$$d\mathcal{G} = \lambda dF \cdot \frac{dt}{dn} \cdot d\delta$$
$$dM = -D dF \frac{dc}{dn} \cdot d\delta \quad (1)$$

$\frac{dc}{dn}$  – konsentrasiýanyň gradiýenti

$D$  –  $M$ ,  $D$  koeffisiýenti.

(-) prosesin konsentrasiýanyň peselýän tarapyna ugrukdyrlandygyny aňladýar:

#### **Konwektiw diffuziýa**

Konwektiw diffuziýa maddalaryň uly göwrüminiň turbulent ýagdaýda bir fazadan beýlekä geçmegi bilen baglydyr. Bu massaberijilik diýip belleniýär we ol birnäçe faktorlara baglydyr:

$$DQ = \alpha_1 dF(t_{or1} - t_{st1}) = \alpha_2 \cdot dF(t_{or2} - t_{st1})$$

$$DM = \rho_1 \cdot dF(y - y) = \beta_2 \cdot dF(x - x)$$

$$N_4 = \frac{\alpha \cdot d}{x} \qquad N_a = \frac{\beta \cdot d}{D}$$

4. Massaçalyşma prosesleriniň esasy deňlemesini himiýa-tilsimaty prosesleriniň esasy kinetiki kada-kanunlaryndan ugur alyp kesgitlese bolýar: prosesin tizligi onuň hereketlendiriji güýjiniňgarşylygyna bölünmegine deň, ýany:

$$dM/dF \, df = K \, \Delta$$

bu ýerde  $dM$  – bir fazadan beýleki faza beýleki faza geçýän maddanyň mukdary;  $dF$  – faza kontaktynyň üsti;  $df$  – wag;  $\Delta$  - massa çalyşma prosesiniň hereketlendiriji güýji;

## **Himiki prosesler Bugartma**

1. Erginleri bugartma prosesi, erginleri konsentrlirmek 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 wag, erginden arassa görnüşde eredijini almak üçin, meselem deňiz suwuny bugartma usuly bilen ýumşadylanda, emele gelyän 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 için hökman ýylylyk göteriji gerek. Ýylylyk göteriji božup bolsa köp halatda gyzdyryjy bug ulanylýar we buga bolsa ilkinji bug diýilýär. Bugartma netijesinde emele gelyän 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.

**3. Köp korpusly bugartma:**

1. Has konsentirlenen erginleri almakda

2. Ikilenji buguň ýylylygyny ulanmaklyga mümkinçilik berýär.

Köp korpusly bugartma prosesind ikilenji buguň tygşytlylygy bugardyjy apparatlary biln bir hatarda ýylylyk nasoslaryny ulanmak bilen amala aşyryp bolýar.



Senagatda has giň ýaýran shemalar bu:

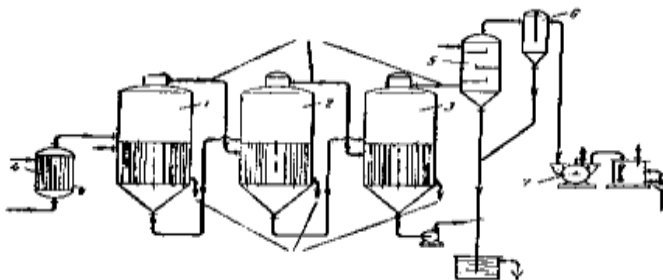
1. Göni akymly
2. Garşylykly akymly
3. Ugurdaş akymly desgalarydyr.

Göni akymly shemada ergin we gyzdyryjy bug göni akym boýunça hereket edýärler. Basyş birinji korpusdan ahyrka üenli peselýär. Şonuň üçin aherky korpuslarda erginiň süýgeşikligi ulalýar, ýylylyk geçirijiligi has aýdyň peselýär we ahyrky bugardyjy korpusyň üstüni ýokarlandyрма zerurlygy ýüze çykýar.

Garşylyklaýyn shemada ilkinji ergin bugardyjy desganyň ahyrky korpusyna berilýär. Bu ýerde erginiň konsentrasiýasynyň pesligi, erginiň süýgeşikliginiň hem pes bolanlygy we ýylylyk geçirijiliginiň ýeterlik ýokarylygy sebäpli, bugardyjy apparatyň üstüniň ýokarlandyrylmagynyň hökmanylygy ýüze çykmaýar. Bu çyzgynyň kemçiligi, birinji korpusdan ahyrky korpuslara çenli basyşyň peseldilme şertinde, ilkinji ergin ahyrky korpusdan indiki apparata pes basyşdan ýokary basyşa berilmeli. Bu ýagdaý üçin bolsa hökman nasoslary ulanmaly.

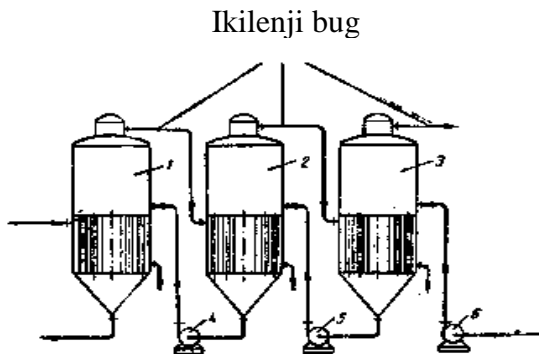
Ugurdaş akymly desga doýgun erginleri bugartmak üçin ulanylýar. Erginiň kristallaşmagynyň önüni almak maksady bilen ergin aýratynlykda her korpusa aýra berilýär. Gyzdyryjy bug bolsa bir korpusdan beýleki korpusa geçýär.

Ikilenii bug

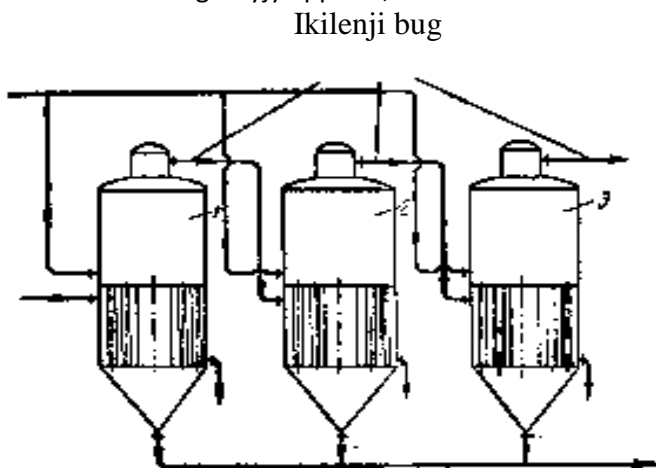


**Surat 1.** Ugurdaş akymly desganyň çyzgysy

1-3 – Bugardyjy apparat; 4 – ýylylyk çalşyjy; 5 – barometrik kondensator; 6 – bug tutujy; 7 – wakuum nasos.



**Surat 2.** Garşylykly akymly desganyň çyzgysy  
1-2 – bugardyjy apparat; 4 – 6 – nasoslar.

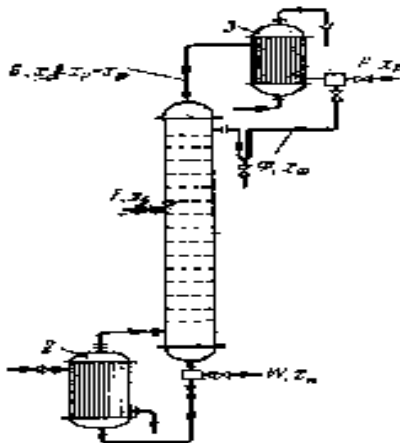


**Surat 3.** Ugurdaş akymly desganyň çyzgysy , 1-2 – bugardyjy apparat.

## Rektifikasiýa

1. Rektifikasiýa diýip, suwuklygyň bölekleyin bugarmasynyň we buglaryň kondensasiýasynyň birnäçe gezek

gaýtalanmasyna aýdylýar. Proses, dürli temperaturalary bolan bug we suwuk akymynyň galtaşmasynda amala aşýar we sütün şekilli apparatlarda geçirilýär. Her bir galtaşmada, suwuklykdan pes temperaturada gaýnaýan komponent bugarýar. Onuň bilen bug baýlaşýar. Bugdan suwuklyga geçýän, ýokary temperaturada gaýnaýan komponent kondensirlenýär. Şeýle birnäçe gezek gaýtalanýan iki taraplyklaýyn alyş-çalyşmada arassa görnüşde diýen ýaly pes temperaturada gaýnaýan komponent alynýar. Bu buglar aýratyn apparatlarda kondensirlenenden soňra, **distilýaty** (rektifikat) we sütüni suwarmak hem-de ýokary göterilýän bug bilen galtaşdyrmam üçin **flegmany** berýär. Buglary, sütüniň aşagyndaky arassa görnüşde diýen ýaly ýokary temperaturada gaýnaýan **galyndyny** bölekleyin bugartmak ýoly bilen alynýar,



**Surat 1.** Üznüksiz işleýän rektifikasion sütün

.Rektifikasiýada başlangyç ergin iki bölege: pes temperaturada gaýnaýan komponente baýlaşan (PG) – **distilýata**, pes temperaturada gaýnaýan komponente garylaşan

**galynda** bölünýár. Üznüksiz rektifikasiýany iki basgançakdan ybarat bolan rektifikasion sütünde geçirilýár. Başlangyç garyndy aşaky basgançagyň ýokarsyndan (kowujy bölüm) berilýár. Bu ýerde başlangyç garyndy başlangyç konsentrasiýasy galyndynyň düzümi bilen gabat gelýán tersine akýan bug bilen tásirleşýár. Netijede, garyndynyň bölünmesi bolup geçýár. Ýagny pes temperaturada gaýnaýan komponentiň bölünip alynmasy we onuň ýokary temperaturada gaýnaýan component bilen doýmasy bolup geçýár.

Ýokarky basgançakda aşaky basgançakdan baryp düşýán bug, düzümi boýunça distilýata meňzeş, garşylykly akýan suwuklyk bilen tásirleşýár. Netijede, bygyň berkleşmesi bolup geçýár. Ýagny onuň pes temperaturada gaýnaýan component bilen baýlaşýár.

3. Rektifikasiýa berilýán başlangyç garyndynyň mukdaryny  $F$  bilen, alynýan distilýatyň mukdaryny  $P$  bilen, galyndynyň mukdaryny  $W$  bilen we garyndynyň, distilýatyň we galyndynyň düzümini  $x_F$ ,  $x_P$  we  $x_W$  bilen belláliň.

Onda garyndynyň hemme mukdary boýunça maddy balansyň deňlemesi aşakdaky görnüşde bolar:

$$F = P + W \quad (1)$$

pes temperaturada gaýnaýan component üçin maddy balansyň deňlemesi:

$$F x_F = P x_P + W x_W \quad (2)$$

(1) we (2) Deňlemeleriň kömegi arkaly rektifikasiýa prosesine gatnaşýan maddalaryň mukdary ýa-da düzümi bilen baglanyşykly hemme meseleler çözülýár.

Maddy balansyň deňlemesini ýeňil component boýunça, apparatyň belli bir kesimi üçin ýazalyň:

$$Gy + Lx_2 = Gy_2 + Lx$$

bu ýerden

$$y = y_2 - (L / G) (x_2 - x) \quad (3)$$

Edil şoňa meňzeşlikde, eredilen kesimden aşakda, belli bir kesimi üçin ýeňil component boýunça maddy balansyň deňlemesini ýazalyň:

$$Gy_1 + Lx = Gy + Lx_1$$

bu ýerden

$$y = y_1 - (L / G) (x - x_1) \quad (4)$$

(3) we (4) Deňlemeler rektifikasiýa prosesiniň iş çyzygynyň deňlemeleridir.

3. Ýokary göterilýän buguň mukdary  $G$ , apparatyň hemme beýikligi boýunça bir meňzeş. Bu buguň mukdary deflegmatora baryp, onuň bir bölegi flegma  $\Phi$  görnüşinde apparata gaýtarylyp berilýär. Galan bölegi bolsa distilýat görnüşinde çykarylýar. Şeýlelikde

$$G = \Phi + P \quad (5)$$

Flegmanyň distilýatyň mukdaryna bolan gatnaşygyna flegma sany diýilýär:

$$R = \Phi / P \quad (6)$$

Şeýlelikde, flegmanyň  $\Phi = PR$  mukdary we ýokary göteriýän buguň mukdary:

$$G = P R + P = P (R + 1) \quad (9)$$

Sütüniň berkidiji böleginde aşak akýan suwuklygyň mukdary, flegmanyň mukdaryna deň:

$$L = \Phi = P R \quad (10)$$

Sütünden çykýan buguň düzümi bolsa suwarma berilýan flegmanyň düzümi bilen deň:

$$y_2 = x_2 = x_p$$

L we G bahalaryny (3) deňlemede goýup aşadakyňy alarys:

$$y = x_p - R / (R + 1) (x_p - x) \quad (11)$$

ýa-da

$$y = (R / (R + 1)) x + (x_p / (R + 1)) \quad (12)$$

(12) Deňleme, sütüniň berkidiji bölüminiň iş çyzygynyň deňlemesidir.

**4.**Rektifikasiýa prosesini geçirmek üçin dürli görnüşdäki gurluşy bolan apparatlar ulanylýar. Olaryň esasy görnüşleri degişli absorberlerden tapawutlanmaýarlar.

Rektifikasion sütün silindrik korpusdan ybarat bolup, onuň içinde tarelka ýa-da goýum görnüşli kontaktly gurluş ýerleşdirilýär. Sütüniň aşak böleginden ýokarlygyna buglar hereket edýär, ýagny ol buglar ýylylyk çalşyjydan apparadyň aşakgy bölegine berilýär. Buglar suwuklygyň gatlagynyň üsti bilen tabaklara geçýär.

Rektifikasion desgalarda esasan iki görnüşdäki apparatlardan peýdalanýarlar:

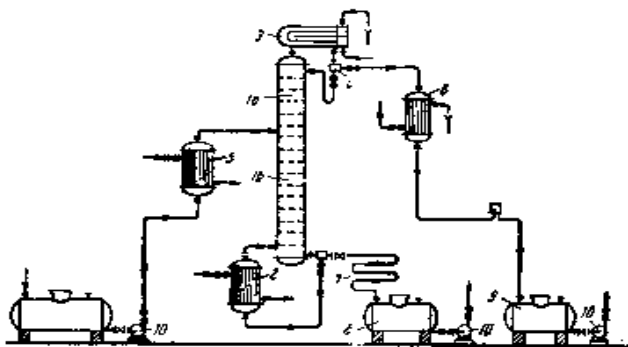
1. Goýumly sütünler
2. tabakly rektifikasion sütünler

Mundan başga-da rektifikasiýada ýukajyk perdeli (plýonka) we rotorly sütünleriň dürli görnüşleri ulanylýar.

Goýmaly, barbotažly, şeýle hem ýukajyk perdeli sütünler, özleriniň içki gurluşlary boýunça absorpsion sütünlerine meňzeş.

Ýöne rektifikasion sütünler, absorpsion sütünler bilen deňeşdirlende, ýylylyk çalşyjylar – gaýnadyjylar we deflegmatorlar bilen üpjün edilen. Mundan başga-da, daşky

gurşawa ýylylgyň ýitgisini azaltmak üçin, apparat ýylylyk örtügi (izolýasiýasy) bilen örtülen.



**Surat 1.** Üznüksiz işleýän rektifikasiýa desgasy  
**Ekstraksiýa**

1. Diňe bölüp alynýan bir ýa-da birnäçe komponenti saýlap eredýän suwuk eredijiniň (ekstragentiň) kömegi bilen suwuk garyndyny bölmek we gaty maddadan komponentleri aýyrmak prosesine **ekstraksiýa** diýilýär.

Başlangyç suwuk garyndy, şol garyndyda eremeýän ýa-da az ereýän ekstragent bilen işlenýär. Ekstragentiň başlangyç ergin bilen täsir edişmesi netijesinde ekstrakt we rafinat emele gelýär. Erginden bir ýa-da birnäçe komponenti saýlap alyjy eredijiniň (ekstragentiň) kömegi bilen bölmeklige suwuklykly ekstraksiýa diýilýär. Ekstragent bilen täsir edende, onda diňe bölüp almaly komponent gowy eräp, çig malyň galan komponentleri onda eremeýärler.

Suwuk-suwuk ulgamdaky ekstraksiýa prosesi himiýa, nebiti gaýtadan işlemekde, nebitiň himiýasy we beýleki senagat kärhanalarynda giňden ýaýrandyr. Bu proses organiki we nebit himiýasynyň sinteziniň önümlerini, käbir elementleri bölüp almakda ulanylan suwlary arassalamakda peýdaly ulanylýar.

Suwuk-suwuk ulgamdaky ekstraksiýa diffuzion proses bolup, ol bir-birinde eremeýän ýa-da çäkli (az) ereýän suwuk

fazalaryň gatnaşmagynda geçýär. Ekstragirlenýän madda (ýa-da birnäçe madda) fazalaryň arasynda paýlanýar.

Prosesde ekstragentdäki bölüp alnan komponentiň erginine ekstrakt, ekstraginlenýän komponenti alnan ergine bolsa rafinat diýilýär.

Alnan ekstrakt we rafinat biri-birinde mahaniki ýa-da merkezi güýjiň täsiri bilen bölünip alynýar. Ekstraktdan degişli komponentleri rektifikasiýa usuly bilen bölüp alynýar. Rafinatdan bolsa ekstragenti regenirlenýär.

Ekstraksiýa prosesiniň beýleki bölme proseslerinden (rektifikasiýa, bugartma) esasy aýratynlygy onuň pes iş temperaturasynyň bolmagydyr. Proses köp halatda adaty (otag) temperaturada geçilýär.

Ekstraksiýa prosesini derman önümçiliginde antibiotikleri alamakda ulanylýar. Antibiotikleri başga usullar bilen bölmekligiň amatsyz bolmagy, olaryň ýokary temperaturada dargamagy baglanyşykly.

Ekstraksiýa prosesini 2 sany topara bölmek bolýar:

1. Komponentleriň fiziki paýlanylmagy bilen geçýän ekstraksiýa
  2. Komponent bilen eredijiniň özara himiki täsir etmegibilen geçýän ekstraksiýa.
2. Garynydyny ekstraksiýa usuly bilen bölmeklik, ulanylýan ekstragentiň sanyna bagly we aşakdaky görnüşde tapawutlandyrylýar:

1. Azyndan üç komponentden ybarat bolan bir ekstragentli ekstraksiýa

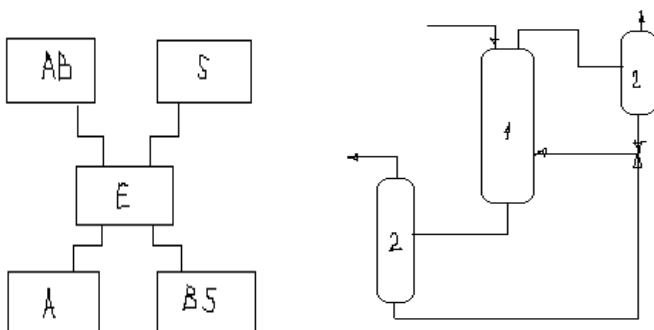
2. Azyndan dört komponentden ybarat bolan iki ekstragentli (fraksion) ekstraksiýa.

Bir ekstragentli ekstraksiýa has giň ýaýran. Ekstraksiýada birnäçe dürli çyzygylar ulanylýar:

1. Bir basgançakly
2. Köp basgançakly
3. Garşylykly



### 3. Eredijini gaýtadan dikeltme bilen ekstraksiýa



**Surat 1.** Eredijini gaýtadan dikeltme bilen ekstraksiion desga:  
1 – ekstraktor; 2 – rektifikasion süstün

**3.** Hemme massaçalyşma prosesleri ýaly, ekstraksiýa prosesi hem deňagramlylyk ýagdaýyna çenli geçýär. Ekstraksiýa prosesinde suwuk fazada erän komponent iki suwuk fazada deňagramlylyk ýagdaýyna ýetýänçä paýlanýar. Ekstraksiýadaky fazalar deňagramlylyk ýagdaýy paýlanma kanuny bilen häsiýetlendirilýär. Bu kanun berlen temperaturada ekstraktdaky we rafinatdaky paýlanýan komponentiň deňagramlylyk konsentrasiýasynyň gatnaşygyny görkezýär.

Ekstraksiýa prosesiniň geçişiniň ýönekeý çyzgysy aşakdaly görnüşde görkezip bolýar. Bu ýerde A+B bölüp almaly komponentli başlangyç garyndy. S bölüp almak üçin goşulýan ikinji erdediji – ekstragent. E – ekstraksiýa prosesi.

Rafinat                      ekstrakt

$$K = y / x$$

$$C = K - \Phi + 2$$

$$C = 3 - 2 + 2 = 3$$

Eger faza birwagtda komponent bolýar diýip kabul etsek onda:

$$C=K- \Phi-2=(3-0+2)=3-2=1$$

$$\text{Eger, } P=T=\text{const.}$$

$$C=K- \Phi=3-2=1$$

Ol massaçalyşma prosesiniň umumy deňlemesi boýunça aşakdaky deňleme bilen aňladyp bolýar:

$$G(y_{ah}-y_{baş})=Z(x_{baş}-x_{ah})$$

Bu ýerde

$G$  – ekstragentiň massasy, kg/s

$Z$  – çig malyň massasy.

$y$  – paýlanýan komponentiň ekstragentdäki konsentrasiýasy.

$x$  – paýlanýan konsentratyň çig maldaky konsentrasiýasy. Onda ekstraktyň massasy

$$G = Z ((x_{baş}-x_{ah}) / (y_{ah}-y_{baş}) )$$

Ekstraksiýa prosesiniň diagrammasynyň gurluşy, ulgam üç komponentli bolanlygy üçin, ol giň ýaýran üçburçlyk diagrammasy bilen şekillendirilýär.

**4.** Suwuk garyndyny ekstraksiýa usuly bilen bölmeklik aşakylardan jemlenýär:

1. Arasyndaky ýakyn galtaşma döretmek üçin başlangyç maddany ekstragent bilen garmak.
2. Iki sany garyşmaýan suwuk fazalary (ekstrakt we rafinat) bölmek
3. Ekstragentiň regenerasiýasy, ýagny ekstragenti ekstraktan we rafinatdan aýyrmak.

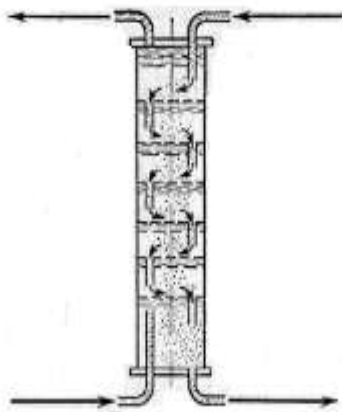
Hemme ekstraktorlar esasy üç görnüşe bölünýär:

1. garyjy-çökdüriji
2. başgançakly
3. differensial kontaktorlar.

Differensial kontaktorlar, esasan bu apparatlarda proses garşylyklaýyn akym boýunça geçirilip, galtaşma, çig malyň we ekstragentiň dykzlyklaryň ara tapawudy bilen döredilýär. Ol apparatlar aşakdaky görnüşde bolýarlar:

1. Garyjy-pürküji – bu görnüşdäki ekstraktorlar öndüriligi az bolan önümçiliginde ulanylýar.

2. Tekjeli ekstraktorlar
3. Goýumly we elekli ekstraktorlar
4. Rotor-disk kontaktorlary.
5. Pürküji ekstraktorlar we başgalar.



**Surat 3.** Elekli ekstraktor

Pürküji sütün iň ýönekeý ekstraktor bolup, ol ýokary paýlama koeffisiýenti bolan ýagdaýynda ulanylýar. Elekli ekstraktorlar galtaşmany ulaltmak üçin ulanylýar.

Iň giň ýaýran kontaktor rotor-disk kontaktory bolup, ol ýokary paýlama koeffisiýenti bolan ýagdaýynda ulanylýar.

Merkezde aýlanýan wala halka bilen gezekleşýän disk ýerleşdirilen. Galtaşma paýlanma koeffisiýenti ulaldýar.

## **Guratma**

1. Gaty we pasta görnüşdäki materialdan çyglylygy aýyrmaklyk olaryň ugardylmagynyň arzanlamagyna we olaryň hökmany häsiýetlerini bermeklige kömek edýär. Şeýle-de olary saklananda ýa-da gaýtadan işlenende enjamlarda we turba geçirijilerde korroziýany azaldýar.

Materialdan çyglylygy mehaniki usul bilen aýryp bolýar. Mysal üçin: çäkdürme, süzme, sentrfigurirlme. Yöne doly suwsyzlandyrma, bugartma ýoly bilen, ýagny guratma bilen gazanyp bolýar

Guratma prosesi, çylşyrymly diffuzion prosesdir. Ol biri-biri bilen özara baglanşykly iki prosesiň birleşen, ýagny ýylylyk we massa çalyşma prosesidir.

2. Guradylýan materiala ýylylygy bermek boýunça guratmagyň aşakdaky görnüşleri tapawutlandyrylýar:

1. konwektiw guratma
2. kontaktly guratma
3. radiation guratma, infra gyzyl şöhle bilen ýylylyk berme
4. dielektriki guratma, ýokary ýylylygy bolan tok meýdanynda gyzdyрма
5. sublimasion guratma, çuň wakuumda doňdyрма ýagdaýynda guratma

3, 4, 5 usul ýörite usul diýip atlandyrylýar, bu usullar örän seýrek ulanylýar.

3. Material bilen çyglylygyň baglanşygy aşakdaky görnüşlerde bolýar:

1. Himiki
2. Fiziki-himiki
3. Fiziki-mehaniki

Guratmagyň mehanizmi bu formalar bilen baglanşykly, ýagny baglanşyk näçe berk bolsa, şonça-da guratma prosesi kyn geçýär.

Has berk birleşen çyglylyk himiki baglanşyk bolup, ol diňe ýokary temperaturada ýa-da himiki maddalaryň kömegi bilen aýyryp bolýar.

Guratma prosesinde, düzgün bolşy ýaly, material bilen fiziki-himiki we mehaniki baglanyşan çyglylyk aýrylýar.

4. Guradylan material boýunça maddy balans:

$$G_1 = G_2 + W \quad (1)$$

Guradylýan materialdaky absolýut gury madda boýunça

$$G_1(100-w_1) / 100 = G_2(100-w_2) / 100 \quad (2)$$

bu ýerde  $G_1$  – çig materialyň mukdary, kg/sag

$G_1$  – guradylan materialyň mukdary, kg/sag

$w_1$  we  $w_2$  - materialyň başky we ahyrky

çyglylygy

$W$  – guradylanda aýrylýan çyglylygyň mukdary

(1) Deňlemeden

$$G_1 = G_2 (100-w_2) / (100- w_1) \quad (3)$$

$$G_2 = G_1 (100-w_1) / (100- w_2) \quad (4)$$

(1) Deňlemeden:

$$W = G_1 - G_2 \quad (5)$$

(1) deňlemä (3) bahasy goşulanda:

$$W = \frac{G_1 - G_2 (100-w_1) / (100- w_2)}{G_1 (w_2-w_1) / (100- w_2)} =$$

$G_1$  bahasy:

$$W = G_1 (w_1 - w_2) / (100 - w_1) \quad (7)$$

(6) we (7) guratma prosesiniň maddy balansynyň esasy deňlemesi

**5.** Guratma prosesiniň ylylyk balansy, guratmaklyga näçe mukdarda ýylylygyň berilmegi bilen baglansykly. Başlangyç we harçlanan mukdary ýazsak onda:

$$L(I_2 - I_1) = \Delta$$

$$(I_2 - I_1) / (x_2 - x_0) = (I_2 - I_1) / (x_2 - x_1) = \Delta$$

Guradyjy kamerdaky girýän we harçlanýan ýylylyk:

- |    |            |           |               |
|----|------------|-----------|---------------|
| 1) | $\Delta=0$ | $I_2=I_1$ | ideal guratma |
| 2) | $\Delta>0$ | $I_2>I_1$ | real guratma  |
| 3) | $\Delta<0$ | $I_2<I_1$ | real guratma  |

Guratma prosesinde tizlik üýtgeýär, ilki başda uly ýagny mehaniki çyglylyk aýrylýar, soň tizlik peselýär. Iki sany egri tapawutlandyrylýar:

1. Guratma egrisi
2. Guratma tizligi

I – guratmagyň hemişelik tizligi, daşky diffuziýa bilen baglansykly

II – guratmagyň tizliginiň peselmegi içki diffuziýa bilen baglansykly

## **Suwuklyklary gaýtadan kowmak**

**1.** Iki ýa-da birnäçe uçujy komponentlerden ybarat bolan suwuk garyjyny bölmekde iň giň ýaýran usulyň biride gaýtadan kowmadyr (distilýasiýa we rektifikasiýa)

Gaýtadan kowmada bölmeklik şol bir temperaturada garyndynyň komponentleriniň uçujylygyna esaslanandyr.

Gaýtadan kowma prosesinde alynýan bug başlangyç garyndy bilen deňeşdirlende ýeňil bugarýan ýa-da pes

temperaturada gaýnaýan komponentleriň köp mukdaryny saklaýar.

Bugarmadyk suwuklyk, kyn bugaýan ýa-da ýokary temperaturada gaýnaýan komponentlere has baý düzümlidir.

Kyn bugaýan suwuklyga galyndy, buguň kondensasiýasyndan soň alynýan suwuklyga bolsa distilýat ýa-da rektifikat diýilýär.

Rektifikasiýa XIX asyryň başyndan bäri esasy tilsimat prosesleriň biri hökmünde belli. Esasan hem spirt we nebit-gaz senagatynda giňden ulanylýar.

Häzirki wagtda, gaýtadan kowma we rektifikasiýa himiýa tilsimatynda giňden ýaýrandyr we dürli görnüşdäki önümleri arassa görnüşde almak we gaz, suwuk garyndylaryny bölmekde ulanylýar.

Gaýtadan kowma üznüksiz we üznükli ýerine ýetirilýär.

2. Gaýtadan kowmanyň aşakdaky görnüşleri bar:

1.Ýönekey gaýtadan işleme ýa-da distilýasiýa

2.Çylşyrymly, distilýasiýanyň birnäçe gezek gaýtalanýan görnüşi- rektifikasiýa.

Iki ýa-da binäçe uçujy komponentlerden ybarat bolan suwuk garyndyny bölmekde in giň ýaýran usulyň biride gaýtadan işleme kowmadyr (distilýasiýawe rektifikasiýa).

Gaýtadan işlemekde bölünme prosesişol bir temperaturada garyndynyň komponentleriniňdürli uçujylygyna esaslanandyr

Gaýtadan işleme prosesinde alynýan bugfaza, başlangyçagryndy bilen deňeşdirlende ýeňil bugaýan ýa-da pes temperaturada gaýnaýan komponentleriň köp mukdaryny saklaýar.

Bugarmadyk suwuklyk düzümi bolsa kyn bugaýan ýa-da ýokary temperaturada gaýnaýan komponentlere has baýdyr.

Kyn bugaýan suwuklyga galyndy, buguň kondensasiýasyndan soň alynýan suwuklyga bolsa distilýat ýa-da rektifikat diýilýär

Gaýtadan kowmagyň aşakdaky görnüşleri tapawutlandyrylýar:

1. Ýönekeý gaýtadan kowma – ol 2 ýagdaýda ulanylýar.

a) Garyndynyň komponentleriniň gaýnama temperaturalary öz arasynda has tapawutlanýan ýagdaýynda,

b) Haçan-da bölünýän komponentleriň ýokary hilli bolmaklygy talap edilmeyän ýagdaýynda.

2. *Deflegmasiýaly ýönekeý gaýtadan kowma*. Bu görnüş bölme derejesini ýokarlandyrmak üçin ulanylýar. Ol distilýaty goşmaça baýlaşdyryp, distilýasiýa ýoly bilen ýerine ýetirilýär. Deflegmatorda buguň kondensasiýasy bolup geçýär. Suwuklyk aşak akýar, onuň garşysyna bug ýokary göterilýär. Aşak ugra barýan suwuklykda bug, pes temperaturada gaýnaýan komponenti alýar. Suwuklyk bolsa, ýokary temperaturada gaýnaýan komponenti özüne alýar. Şeýlelikde goşmaça bölmekligi gazanylýar.

3. *Fraksion gaýtadan kowma*

Fraksion gaýtadan kowma ýa-da drobly gaýtadan kowma – bu kesgitli temperatura interwaly aralygynda aýratyn fraksiýalary ýygnamaklyk zerur bolan ýagdaýynda ulanylýar.

4. *Wakuum astynda gaýtadan kowma* usuly ýokary temperaturada dargaýan garyndylary kowma üçin ulanylýar. Bu ýagdaýda garyndynyň gaýnama temperaturasy peselýär. Kondensator bilen wakuum- sorujyny (nasosyny) birleşdirilmegi netijesinde desga çylşyrymlaşýar.

5. *Suw bugy bilen kowma* hem wakuumda kowma prosesiýaly erginiň gaýnama temperaturasyny peseltmek üçin ulanylýar

6. *Inert geçirijiniň - gazyň gatnaşmagynda kowma*. Bu usul suw gatnaşmagynda kowma. Bu usul suw bugunyň gatnaşmagyndaky kowmaklyk ýaly maksady yzarlaýandyr. Inert gaz hökmünde  $H_2CO_2$  geliý,  $N_2$  we başgalar ulanylýar.



7. *Deňagramly* (bir gezek bugartma) gaýtadan kowma. Esasan rektifikasiýanyň önünden bölmeklik üçin ulanylýar. Bu görnüş nebiti gaýtadan işleýän zawodlarda we nebit himiýa senagatynda, suwuk garyndyny önünden bölmek üçin ulanylýar

8. *Molekulýar gaýtadan kowma* – bu usul, kowmaklygyň iň gymmat görnüşidir. Ýokary temperaturada gaýnaýan suwuklygy bölmekde ulanylýar. Bu ýerde örän çuň wakuum döredilýär. Galyndy basyş 0,01- 0,001 mm Hg deň. Pes basyşda molekulalar özara dartys güýji ýeňil ýeňip geçýärler. Molekulalaryň arasyndaky çakyşma sany peselýär, erkin hereket ýokarlanýar. Eger bugarma we kondensasiýa üst aralyklary erkin hereketiň uzunlygyndan kiçi bolsa, onda molekulalar kondensasiýa üste çalt barýarlar we şol ýerde tutulyp alynýar.

9. Basyş astynda kowma usuly ýokary temperaturada dargaýan garyndylary kowma üçin ulanylýar.

Gaýtadan işlemegiň iki görnüşini tapawutlandyrylýar:

1. Ýönekeý gaýtadan işlemek

Çylşyrymly - birnäçe gezek gaýtadan işleme – rektifikasiýa

3. Suwuklyk- bug ulgamynda deňagramlyk

Gaýtadan kowma prosesinde suwuk gomogen garynda seredilýär, şeýlelikde biz çäklenmedik özara ereýjiligi bolan garyndylar bilen iş salyşýarys.

Bular ýaly erginler:

1. real

2. ideal bolup bilýärler.

Ideal erginler Raul kanunyna boýun egýärler. Her komponentiň parsial basyşy şol komponentiň ergindäki mol paýyna  $x_a$  proporsionaldyr. Şonda proporsionallyk koefisienti berlen temperaturada berlen komponentiň doýgun bugunyň basyşyna deňdir.

$$p_A = P_A \cdot x_A$$

$$p_B = P_B \cdot x_B \quad \text{Raul kanuny}$$

$p_A$ -pars basyş

$P_A$ -doýgun bugun basyşy

$y=f(x)$

$P_A = P_A \cdot x_A$

$x_A + x_B = 1$

$x_B = 1 - x_A$        $P_B = P_B(1 - x_A)$

Ideal erginler şeýle-de Dalton kanuny bilen häsiýetlendirilýär. Onuň esasynda, erginiň üstki umumy basyşy, şol komponentleriň parsial basyşyna deňdir.

$$P = P_A + P_B = P_A \cdot x_A + P_B(1 - x_A)$$

bu ýerde  $P$ - umumy basyş

$P_A, P_B$ -parsial basyş

## **Edebiýatlar**

1. Türkmenistanyň Konstitusíasy. 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 ruhobelentligiň 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. А.Г. Касаткин. Процессы и аппараты химической технологии, Химия, 1973
11. 6.А.Н. Плановский. Процессы и аппараты химической технологии, М., Химия, 1987.
12. 7.К.Ф. Павлов, П.Г. Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л., Химия, 1987.
13. 8.Ю.И. Дытнерский. Процессы и аппараты химической технологии. (Указание по проектированию). М., Химия, 1987

14. Галперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, М., Химия, 1981.
15. 10.Б.М. Рамм. Адсорбция газов, М., Химия, 1976.
16. 11.Т.И.Прождорина, Б.Я. Атаманов. Gidromehaniki ýylylyk we massaçalyşma prosesleri we apparatlary (metodiki gollanma) Aşgabat. 1991.
17. 12.Т.И. Прождорина Mehaniki we gidromehaniki prosesler (metodiki gollanma) Aşgabat 1994.

## Mazmuny

№	Sapaklaryň temalary	Sahy pa nome ri
	Giriş	7
	Nebiti gaýtadan işlemek we nebit we himiýa senagaty.	9
1.1	Himiki düzümi	10
1.2	Fiziki düzümi	10
2.	Massa çalyşma prosesiniň maddy balansy	13
2.1	Fazalaryň arasyndaky deňagramlyk .	13
3.	Tilsimatly prosesleriň maddy we energetiki balansy.	17
3.1	Prosesleriň we apparatlaryň topary	19
4.1.	Mehaniki prosesler we apparatlar	19
4.2.	Gidromehaniki prosesler we apparatlar	25
4.2.1	Esasy kesgitlemeler	25
4.2.2	Süýgeşikligiň görnüşleri.	29
4.2.3	Suwuklyklaryň görnüşleri.	35
4.2.4	Eýler deňagramlylyk differensial deňlemeleri	39
4.2.5	Gidrostatikanyň esasy deňlemesi	43
4.2.6	Suwuklyklaryň hereketiniň esasy häsiýetnamalary	47
4.2.7	Suwuklyklaryň kadalaşan we kadalaşmadyk hereketi	49
4.2.8	Turbulent akym toplumynyň käbir häsiýetnamalary	56
4.2.9	Hereketiň esasy deňlemeleri	59
4.3	Ýylylyk prosesleri we apparatlary	66
4.3.1	Esasy kesgitlemeler	66
4.4	Massa çalyşma prosesleri we apparatlary	71

4.4.1	Esasy kesgitlemeler	71
	Himiki prosesler	
5.1	Bugartma	76
5.2	Rektifikasiýa	79
5.3	Ekstraksiýa	84
5.4	Guratma	88
5.5	Suwuklyklary gaýtadan kowmak	91
6	Edebiýat	95
7	Mazmuny	97