TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

G.Hojamyradow, H.Şaripow

GIDRAWLIKA WE GIDROHEREKETLENDIRIJILER

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

H.Şaripow, G.Hojamyradow. Gidrawlika we gidrohereketlendirijiler

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

Dünýäde her bir ynsan üçin hünärleri özleşdirmekden, öwrenmekden beýik zat ýokdyr. Çünki ylymda, bilimde adamzadyň uzak geçmişi, şu günki hem-de nurana geljegi jemlenendir.

Gurbanguly Berdimuhamedow

SÖZBAŞY

Türkmenistanyñ hormatly Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyñ yglan eden we üstünlikli amala aşyrýan „Täze galkynyşlar we Beýik özgertmeler“ syýasy Maksatnamasy ýurdumyzyñ Garaşsyz we baky Bitarap ösüşinde täze taryhy eýýamy açdy. Bu eýýamyñ geçen üç ýylynda Türkmenistan dünýäniñ çalt we durnukly ösýän ýurtlarynyñ hatarynda ymykly ýerleşdi.

„Altyn-asyr Türkmen köli“, „Türkmenistan-Hytaý“ we „Türkmenistan-Eýran“ halkara gaz geçirijileri, gurulan köp sanly senagat desgalaryñ mysalynda Türkmenistan häzirkizaman ýokary derejeli tilsimatlary, dünýä ylymy-tehniki ösüşiniñ, şol sanda, Gidrawliki ylymynyñ gazananlarny doly özleşdirip we ulanyp bilýän ýurtdygyny subut etdi.

Türkmen politehniki institutynyñ „Nebit we gazyñ saklanýan ýerlerni, geçiriji turbalaryny taslamak, gurnamak we ulanmak“, „Suw üpjünçiligi we kanalizasiýalaşdyrmak“, „Ýylylyk, gaz üpjünçiligi we howa çalyşmak“, “Önümçiligi we tehnologik prosesleri awtomatlaşdyrmak” hünärleriniñ okuw maksatnamalarynda Gidrawlika dersine hünäri esaslandyryjy we ýörite tehniki bilim öwrediji orun berilýär. Nebiti, gazy we suwy gazyp almak, saklamak, turbalar arkaly akdyrmak we gaýatadan işlemek bilen baglanşykly hem-de maşynlar we enjamlar boýunça inžener-mehanikleri taýýarlaýan hünärlerde Gidrawliki derslere esasy tehniki bilen dersleri hatarynda seredilýär.

Ýokarda agzalan hünärleriñ Gidrawlika dersleri boýunça nusgawy okuw maksatnamalaryna hem-de Türkmen politehniki institutynda köp ýyllaryñ dowamynda toplanan okuw işlerniñ tejribesine esaslanyp, „Umumy gidrawlika“ atly okuw kitaby taýýarlanyldy. Bu kitap Türkmen politehniki institutynyñ talyplary üçin niýetlenilýär. Belli derejede bu kitaby taslamaçy, gurnaýjy we ulanyjy hünärmenler gollanma hököminde ulanyp bilerler.

Kitaby ýazanlar: t.y.k.,dosent H.N.Şaripow 1-5-nji baplar; uly mugallym A.M.Geldiýew 7-8-nji baplary işlediler.

1. GIRIŞ

Suwuklyklaryñ we gazlaryñ esasy fiziki häsiýetleri

1.1. Gidrawlikanyñ mazmuny we häzirki zaman meseleleri

Suwuklyklaryň we gazlaryň mehanikasy dersi suwuklyklaryñ, gazlaryň deñagramlyk, hereket kanunlaryny hem-de bu kanunlaryñ dürli tehniki meseleleri çözmeklikde ulanyşyny öwredýän amaly ylymdyr. Suwuklyklaryň we gazlaryň mehanikasy dersiniň özenini Gidrawlika ylymy düzýär.

„Gidrawlika“ sözi „hýudor “ (suw) we „aulos“ (turba) grek sözlerinden alynypdyr we XIX asyrdan başlap Gidromehanika ylymynyñ kanallary we akdyryjy turbalary gurmak bilen baglanyşykly amaly meseleleri özünde jemleýän ylmy ugra öwrülipdir. XX asyryñ dowamynda senagatyñ tehnikanyñ we oba hojalygnyñ ösmegi bilen baglanşyklykda Gidrawlikanyñ (amaly gidromehanikanyñ) esasynda „Ýer asty gidrawlika“, „Amaly gazodinamika“, „Aerodinamika“ ýaly täze ylmy-amaly ugurlar döredi.

Gidromehanika ylmy nazary derñewlere esaslanmak bilen suwuklyklaryñ we gazlaryñ hereket kanunlarny öwrenmekde diñe matematikanyñ takyk usullaryny ulanýar. Nazary we amaly gidromehanika biri-birine esaslanýan we biri-birine baglanşykly, emma dürli derñew we çözgüt usullarny ulanýan bitewi ylymdyr.

Soñky ýyllarda, nazary we amaly gidromehanikanyñ esasynda täze Tehniki gidromehanika ylymy döredi. Bu ylym fizikanyñ we mehanikanyñ esasy ýörelgelerini ulanmak esasynda alynan netijeleriñ tejribe derñewleriniñ maglumatlary arkaly doly derejede tassyklamagyny gazanýar. Häzirki döwürde Tehniki gidromehanikanyñ ylmy usulýetine esaslanyp onuñ çözýän köpugrly gidrogazodinamiki amaly meseleleriniñ häzirki zaman talaplary doly ödemekligini üpjün etmek maksady bilen, bu ylymyñ has ýöriteleşdirlen ugurlaryny döretmeklige ýykgynlyk edildi „Gidrawlika we aerodinamika“, „Gidrawlika we gidrawliki maşynlar“, „Gidrawlika we gidrohereketlendirijiler“, „Gidrawlika we gidromehanizasiýalaşdyrmak“ ýaly ylmy-amaly ugrlar gidrawlikanyñ häzirki zaman meselelerini has aýdyñlaşdyrmagyñ we giñeltmegiñ mysallarydyr.

Gidrastatikada asuda halda suwuklyklaryñ we gazlaryñ deñagramlyk kanunlary öwrenilýär. Suwuklyk we gaz göwrümlerinde gidrostatiki basyşyñ döreýşi we onuñ häsiýetleri, basyşyñ görnüşleri we ölçenişi, Paskalyñ kanuny we gidrostatiki basyşyñ tehnikada ulanylşy, dürli şekilli üstlerde döreýän gidrostatiki basyş güýjiniñ kesgitlenilşi, Arihmediñ kanuny we jisimleriñ ýüzmek şertleri ýaly meseleler öz çözgütlerinde gidrostatikanyñ kanunlaryna esaslanýandyr.

Gidrodinamikada yzygiderlilikde nazary we amaly nukdaý nazarlardan suwuklyklaryñ we gazlaryñ hereket kanunlary öwrenilýär. Gidradinamikanyñ başky baplary hereketiñ ylymda kabul edilen çüwdürüm modelini, onyñ esasy mehaniki görkezijilerniñ arabaglanşygny kesgitleýän deñlemeleri, suwuklyk we gaz akymlaryñ hereket kadalaryna we görnüşlerine hem-de akymlary çäklendirýän üstleriñ (akabalaryñ) häsiýetnamalaryna baglylykda döreýän gidrawliki garşylyklary we ýitgileri beýan etmeklikde, olaryñ esasy çözgütlerni nazary we amaly usullar bilen ýerine ýetirmeklige bagyşlanýar. Gidrodinamikanyň ahyrky baplary köp görnüşli geçiriji turbalaryñ, kanallaryñ, gidrotehniki desgalaryñ gidrohereketlendiriji we beýleki akdyryjy ulgamlaryñ gidrawliki hasaplamalary bilen baglanşykly amaly meseleleri çözmeklige bagyşlanýar.

Gidrostatikanyñ we gidrodinamikanyñ esasy meselelerini çuññur we ygtybarly öwrenmek maksady bilen degişli baplarnyñ soñunda nusgawy amaly meseleler getirilýär. Çözülýän meseleleriñ praktiki ähmiýetini döwrebaplaşdyrmak maksady bilen onyñ degişli temalarynda gerek bolan soragnama maglumatlary ýerleşdirilýär.

1.2. Gidrawlika ylymynyñ taryhy

Gidrawlika ylymynyñ taryhy adamzat durmuşynyñ we jemgiýetiniñ döreýiş we ösüş taryhy bilen gös-göni baglanğykdadyr.

Gadymy döwürlerden başlap adamzat suwy akdyrmak, ýerleri suwarmak, umuman suw hadysasyny boýun egdirmek maksady bilen köp işleri ýerine ýetiripdir.

Biziň eramyzdan 10 müň ýyl ozal Murgap we Tejen derýalarynyň ugrunda kiçi melioratiw desgalary ulanylypdyr. Messopotamiýada we Hindistanda 7 müň ýyl mundan ozal kanallar we suw howdanlary giňden ýaýrapdyr. Şol döwürlerden soňrak Müsürde, Rimde we Gresiýada suw geçiriji turbalar, akweduklar we beýleki suw desgalary ulanylyp başlanypdyr. Muňa garamazdan, şol döwürlerde gidrawlika ylmyna degişli ýazgy görnüşli ylmy çeşmeler ýa-da döredilmändir, ýa-da adamzadyň täze erasyna gelip ýetmändir.

Gidrawlika ylmy öz ýazgy görnüşli taryhy başlangyjyny biziň eramyzdan 250 ýyl öň ýaşan grek akyldary Arhimediň "Jisimleriň ýüzüjiligi hakynda" kanunyndan alyp gaýdýar. Emma gidrawlikanyň yzygiderli we köptaraplaýyn ösüşi diňe XV asyrdan soň başlanýar. Genial italýan alymy Leonardo-da-Winçi (1452-1519 ý.ý., gidrawliki energiýanyň nazarýeti), flamand alymy Stewin (1548-1620 ý.ý., gidrostatiki basyş güýjini hasaplamak), italýan alymlary Galileý (1564-1642 ý.ý., "Gidrostatiki paradoks" hadysasy), Toriçelli (1608-1647 ý.ý., suwuklyklaryň deşiklerden akyşyny hasaplamak) fransuz alymy Paskal (1625-1662 ý.ý., suwuklyklaryň daşky basyşy geçirijiligi, wakuum hadysasy) genial iňlis alymy Nýuton (1642-1724 ý.ý. suwuklyklarda içki sürtülme kanuny) we beýlekiler biri-birine baglanyşyzlykda gidrawlika ylmynyň düýbini tutdylar.

XVIII asyrda genial rus alymlary M. Lomonosow (1771-1765ý.ý. Massanyň we energiýanyň saklamak kanunlary...), D.Bernulli (1700-1782ý.ý. Gidrodinamika ýa-da suwuklygyň hereketi we güýçler hakynda ýazgylar...) we L. Eýler (1707-

1783ý.ý. Suwuklyklaryň deňagramlygynyň we hereketiniň deňlemeleri...) gidrawlikanyň bütewi ylym hökmünde döremegine we onuň düýpli ylmy ösüş ýoluna girmegine uly goşant goşdylar.

1738-nji ýylda D.Bernulli ýokarda agzalan ylmy işinde hyýaly suwuklygyñ elementar çüwdürimi üçin basyşyñ we tizligiñ arabaglanşygny kesgitleýän teoremany ýa-da deñlemäni ýazyp beýan etdi. Bu deñleme soñky döwürlerde Bernulliniñ deñlemesi diýip atlandyryldy hem-de gidrawlikanyñ esasy deñlemesi hökmünde kabul edildi. Suwuklyk we gaz akymlaryñ hasaplamalary, akymlary praktikada we tehnikada ulanmak, gidrawlikanyñ köpugrly çüwdürüm tilsimatlary we enjamlary öz çözgütlerinde we gurnalyşlarynda Bernulliniñ deñlemesine esaslanýarlar.

1755-1769-njy ýylarda L.Eýler M.Lomonosowyñ ilkinji bolup ýazyp beýan eden energiýanyñ saklanmak kanunyna esaslanyp, hyýaly suwukluk üçin statiki we dinamiki deñagramlylygyñ diferensial deñlemelerini ýazdy. Bu deñlemeler M.Lomanosowyñ we D.Bernullynyñ ylmy açyşlarynyñ takyk matematiki subutnamasy boldy. L.Eýler şeýle-de suwuklyk giñişliginiñ we hereketiniñ üznüksüzlüginiñ differensial deñlemesini ylma hödürledi. Bu deñlemeler nazary gidromehanikanyñ ylmy esaslaryny we düýpli çözgütlerini emele getirdi.

XIX asyrda gidrawlikanyñ ylmy döredijilik we ösüş ýoly dürli amaly ugurlar boýunça dowam edýär. Bu döwürde Fransiýada, Angilýada, Germaniýada we Rusiýada alymlaryñ we inženerleriñ gidrawlikadan ylmy mekdepleri döredi.

Fransuz gidrawliklary A.Şezi, I.Puazeýli we A.Darsi kanallaryñ we geçiriji turbalaryñ gidrawliki hasaplama usullary we formulalary, iñlis alymlary O.Reýnolds we R.Maning suwukluk akymlarynyñ hereket kadalary hem-de kanallaryñ we turbalaryñ gidrawliki hasaplama formulalary we koeffisientleri, nemes gidrawligi Ýu.Weýsbah ýerli gidrawliki garşylyklary we ýitgileri derñemek we kesgitlemek, rus alymlary N.P.Petrow we

I.S.Gromeka suwukluklarda içki sürtülme garşylygy we kopilýar hadysalary ýaly uly ylmy we praktiki ähmiýetli işleri ýerine ýetirdiler. Agzalan ylmy işleriñ netijeleri şu günki gidrawlika ylmynda we praktikasynda giñden ulanylýar.

XX asyrda senagatyñ we tehnikanyñ has ýokary depginler bilen ösmegi, deñi taýy bolmadyk gidroenergetiki desgalaryñ döremegi gidrawlika ylmynyñ praktiki ösüş esasyny has giñeltdi we berkitdi. Mehanika ylmynda meñzeşlik we ölçemeler nazarýetiniñ açylmagy we berk ornaşmagy, gidrawlika ylmynyñ nazary esaslaryna gaýtadan seretmeklige we ony çuñlaşdyrmaga mümkünçülik döretdi.

Rus awiasiýasynyñ atasy adyny alan N.Ýe.Žukowskiý (1836-1920ý.ý.)dünýä belli merkezi aerogidrodinamiki institutyny döretdi hem-de bu ugurdan ilkinji bolup giñ gerimli ylmy – barlag işlerini ýola goýdy. N.Ýe.Žukowskiý geçiriji turbalarda gidrawliki urgular we teýgumlarda suwyñ süzülme nazaryýetlerniñ awtorydyr. Ol şeýle-de suwuklugyñ laminar we turbulent kadaly hereketiniñ käbir nazary we amaly meselelerini aýdyñlaşdyrdy we giñeltdi.

S.A.Çaplygin (1869-1942 ý.ý.) häzirki zaman gazodinamika ylmyny esaslandyryjy hem-de nazary gidroaeromehanikanyñ soñky döwirlerdäki ösüşini üpjün eden alym hökümünde özini tanatdy.

N.N Pawlowskiý (1884-1937 ý.ý.) suwyñ süzülme nazarýetini dowam edip, onuñ öýjikli giñişlikdäki hereketiniñ amaly meselelerini elektrogidrodinamiki meñzeşlik usuly bilen çözmeklik usulyny we bu babatda ölçeg hasaplama enjamyny döretdi. Ol şeýle-de açyk akabalarda deñölçegsiz hereketiñ differensial deñlemelerini çözmeklige degişli köp sanly ylmy işleri ýazdy.

Belli sowet alymlary L.G.Loýsýanskiý, R.R.Çugaýew, S.A.Hristianowiç, M.W.Keldyş, M.A.Lawirentýew, L.I.Sedow, M.A.Welikanow, A.D.Altşul we beýlekiler we tanymal daşary ýurt alymlary D.Teýlor, T.Karman, L.Prandtal, G.Şlihting we beýlekiler açyk akabalaryñ, süzülme akymlarynyñ, kiçi we iri gidrotehniki desgalaryñ köp görnüşli çylşyrymly gidrawliki meseleleriniñ amaly we nazary çözgütlerini, galybersede, köp ýyllaryñ dowamynda öz çözgüdüne garaşan turbulentigiñ ýarym empriki nazaryýetini döretdiler. Bu we beýleki köp sanly we köp ylmy-tehniki çözgütler, şu döwürde adamzadyñ emeli derýalary we kölleri döretmeklige, ummasyz suw we howa giñişliklerini özleşdirmäge, iñ amatly we gaýtadan döräp bilýän suw we howa akymlaryñ energiýasyny ulanmaklyga, suwy, howany, gazy we nebiti gaýtadan işlemeklige we olary rejeli ulanmaklyga mümkinçilik döretdi. Şeýle-de bolsa, gidrawliki hadysalarynyñ we meseleleriniñ köp görnüşliligi we çylşyrymlylygy sebäpli, olaryñ aýratyn ugurlarynyñ ylmy nukdaý-nazardan doly derejede çözülmekligi entek öz gezegine garaşýandyr.

Garaşsyz we Baky Bitarap Türkmenistan „Täze galkynyşlar we beýik özgertmeler“ Milli ýoly bilen öz 20 ýyllyk ýubileýine barýar. Bu ýolyñ her güni türkmeniñ asyrlar boýy arzuw eden döredijilik we ösüş gadamlary bilen beslenendir. Milli bilimi we ylmy häzirki zaman dünýä derejesinde ösdürmek biziñ milli Liderimiz hormatly Gurbanguly Berdimuhamedowyñ ilkinji syýasy çözgütleriniñ biri boldy. Hormatly Prezidentimiziñ üstünlikli we tutanýerli alyp barýan içeri we daşary syýasatynyñ miweleri hökmünde soñky ýyllarda gurlan deñi- taýy bolmadyk halkara gaz akdyryjy ulgamlary, Altyn asyr türkmen köli, dünýäde iñ uzyn emeli suw desgasy bolan Garagum derýasynyñ ugryndaky alynyp barylýan täze dikeldiş işleri öz esasy halk hojalygyny we ykdysadyýeti ösdürmek niýetlenişinden daşary, ýokary derejeli inženerleri taýýarlamak hem-de gidrawliki ylmynyñ gazananlaryny ulanmak we ony ösdürmk bilen baglanşykly okuw-ylmy-önümçülik işleriniñ ygtybarly esasyny döredýär.

1.3. Suwuklyklaryň we gazlaryň esasy fiziki häsiýetleri

Suwuklyklar we gazlar barada umumy düşünjeler: Suwuklyk ýa-da gaz materiýanyň (jisimiň) ýeňil akgynly faza halynyň görnüşidir. Bu jisimleri emele getirýän material bölejikler hem ýeňil hereketlidirler. Suwuklyk ýa-da gaz göwrüminiň hemişelik geometrik şekili ýokdyr. Olaryň islendik göwrüminiň şekili basyşa, temperatura we täsir edýän güýçleriň wektor meýdanynyň häsiýetine baglydyr.

Suwuklyklar bilen gazlaryň esasy mehaniki deňeşdirme aýratynlygy olaryň göwrüminiň basyşa baglylygydyr. Suwuklyklar basyş güýjiniň täsiri astynda öz göwrümini üýtgetmeýärler. Gazlar tersine-gysylanda göwrümi ep-esli kiçeldýärler. Seredilýan esasy ýagdaýlarda göwrümi üýtgetmeýän ýa-da ujypsyz üýtgedýän gazlar bilen suwuklyklaryň fiziki häsiýetleri bir meňzeşdir. Şonuň üçin normal şertli mehaniki prosesslerde suwuklyklar we gazlar bir jisim suwuklyk hökmünde seredilýärler.

Şeyle hem suwuklyklar we gazlar ideal we real görnüşlere bölünýärler. Ideal suwuklyklar hakyky (tebigy) däldir, olar islendik şertde hemişelik göwrümli, içki ürtülme güýji bolmadyk suwuklyklardyr. Real suwuklyklar tersine-hakyky, ýtgeýän göwrümli, şepbişikli suwuklyklardyr. Ideal suwuklyklar diňe ylmy-nazary derňemelerde ulanylýandyrlar. Bu babatda gidromehanika ylmy XIX asyrdan başlap iki ugra bolündi. Birinji ugur-teoretiki (nazary) gidromehanika – ideal suwuklyklary (gazlary) öwrenýän ylym, ikinji ugur – amaly gidromehanika (gidrawlika)-real suwuklary (gazlary) öwrenýän ylym.

Göwrüm (udel) agyrlyk: Suwuklyklaryň göwrüm (udel) agramy (γ) diýlip, olaryň göwrüm (V) birliginiň agramyna (G) aýdylýar. Diýmek,

$$\gamma = \frac{G}{V} \qquad N/m^3; \qquad (1.1)$$

Göwrüm agyrlyk temperatura baglydyr. Suwuklyklar (gazlar) gyzdyrylanda göwrüm agyrlygy kiçelýändir. Suw göwrüm agyrlygynyň maksimal ululygyna +3,98 ^{0}C temperaturada eýe bolýar. Bu görkeziji diňe suwa degişlidir.

Dykyzlyk: Suwuklyklaryň dykyzlygy (ρ) diýilip, olaryň göwrüm birliginiň massasyna (M) aýdylýar.
Diýmek,

$$\rho = \frac{M}{V} \qquad g/sm^3\ kg/m^3,\ t/m^3. \qquad (1.2)$$

Dykyzlyk bilen göwrüm agyrlyk özara hemişelik baglanyşykdadyrlar. Hakykatdan hem, mehanikanyň II-kanuna laýyklykda suwuklygyň agramyny onuň massasy bilen aňlatsaň

$$G = M \cdot g$$

onda $$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{Mg}{V} = \rho g \qquad (1.3)$$

bolar.

Bu ýerde g-agyrlyk güýjiniň tizlenmesi. Soňky aňlatmadan SI halkara ölçeg birliginde dykyzlyk üçin

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \qquad Ns^2/m^4 \qquad (1.4)$$

ölçeg birligini alyp bolar.

1.1-nji tablisada käbir suwuklyklaryñ we gazlaryñ göwrüm agyrlygy we dykyzlygy getirilýär.

Suwuklyklaryñ (t=+20^{0}C) we gazlaryñ (P=10^{5}Pa,) göwrüm agyrlygy we dykyzlygy.

1-nji tablisa

Suwuklyklar we gazlar	Göwrüm agramy $\gamma, \frac{N}{m^3}$	Dykyzlyk $\rho, \frac{kg}{m^3}$
Arassa tebigy suw	9890	998
Deñiz suwylar	10010-10090	1002-1029
Dizel ýangyjylar	8150-8450	831-861
Kerosinler	7770-8240	792-840
Awtomobil benziniler	6990-7470	712-761
Ilkinji arassalanan nebitler	8340-9320	850-950
Uçar benzinler	1250-7370	739-751
Gliserin	12260	1250
Kastor ýagy	9520	970
Mineral ýaglar	8000-8750	877-892
Etil spirti	7740	789
Kompressor ýaglar	8820-9060	899-924
Transfarmatorlaryň ýagy	8927	910
Industrial ýaglary	8839	901
Simap	132900	13547
Howa	11,6	1,20
Suw bugy	7,25	0,74
Tebigy gaz	6,87	0,70
Wodorod	0,81	0,08
Kislorod	12,8	1,30
Azot	11,3	1,15
Kömür turşy gazy	17,6	1,80

Ýylylyk giňelmesi: Ýokarda bellenilişi ýaly, suwuklyklaryň göwrümi temperatura baglydyr. Suwuklyklaryň ýylylyk giňelme koeffisiýenti (αt) bu hadysany α_t häsiýetlendirýän görkezijidir:

$$\alpha t = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}, \quad {}^0C^{-1} \qquad (1.5)$$

Bu aňlatmada

Vo-suwuklygyň başky temperaturadaky göwrümi,

ΔV - üýtgän göwrüm,

Δt - üýtgän temperatura.

Suwuklygyň ýylylyk giňelme koeffisiýentiniň kömegi bilen onuň göwrüm agyrlygyny (γ) we dykyzlygyny (ρ) islendik temperaturada takyk hasaplap bolýandyr,

$$\gamma_t - \gamma_0 (1 - \alpha_T \Delta T) \qquad (1.6)$$

$$\rho_t = \rho_o (1 - \alpha_T \Delta t) \qquad (1.7)$$

Soňky aňlatmalarda γ_0 we ρ_0- normal şertlerdäki göwrüm agyrlyk we dykyzlyk, Δt-üýtgän temperatura, $\Delta t = t_a - t_1$, ${}^0C$

Aşakda käbir suwuklyklaryň normal şertlerinde ($t=+20\ {}^0C$, $P=10^5$ Pa) ýylylyk giñelme koefisentiniñ ululygy getirilýär:

Suw ....α_t=0,00015, ${}^0C^{-1}$;
Nebit ....α_t=0,00060, ${}^0C^{-1}$;
Spirt ....α_t=0,00110, ${}^0C^{-1}$;
Simap ....α_t=0,00018, ${}^0C^{-1}$;

Göwrüm gysylmasy: Bilişimiz ýaly, real suwuklyklaryň göwrümi basyşa baglydyr. Suwuklyklaryň göwrüm gysylma koeffisiýenti (α_p) bu hadysany takyk häsiýetlendirýän ululyk

$$\alpha_p = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta P} \qquad m^2/N,\ Pa^{-1},\ atm^{-1} \qquad (1.8)$$

Bu ýerde ΔP - üýtgeýän basyş güýji, Pa

Hakykatdan hem suwuklyklar ujypsyz az gysylýandyrlar. Şonuň üçin, praktiki şertlerde göwrüm gysylma koeffisiýenti hemişelik ululykly san hökmünde kabul edilýär.

Mysal üçin, islendik göwrümli ýapyk gapda saklanýan suwa täsir edýän basyş güýji 500 atm çenli üýtgände (ΔP=500 atm), α_p=0,0000475 atm^{-1} diýilip kabul edilýär.

Göwrüm gysylma koeffisiýentiniň ters ululygyna

$$\frac{1}{\alpha_p} = K_p = \frac{V_0 \Delta P}{\Delta V} \qquad Pa,\ atm., \qquad (1.9)$$

suwuklygyň göwrüm maýyşgaklygynyň (gysylma garşylygynyň) moduly diýilýär.

Suwuklykdan doldurylan absolýut ýapyk gaplar gyzdyrylanda (sowadylanda), onuň temperaturasynyň ýa-da basyşynyň ulylyklaryny kesgitlemek praktikada gaty wajyp meseledir. Bu meseläniň çözgüdi. (1.5) we (1.9) aňlatmalar bilelikde seredilende gelip çykýandyr. Dogrudan hem ýokarda agzalan aňlatmalar gabyň göwrümine (V_0) görä bilelikde çözülende gelip çykýan täze aňlatma goýlan soragyň takyk jogabydyr;

$$\Delta P = \alpha_t K_p \Delta t \qquad Pa,\ atm. \qquad (1.10)$$

Ýokarda getirilen (1.9) aňlatmany ΔV üýtgeýän göwrüm üçin ýazsak,

$$\Delta V = \frac{V_0 \Delta P}{K_p} \qquad (1.11)$$

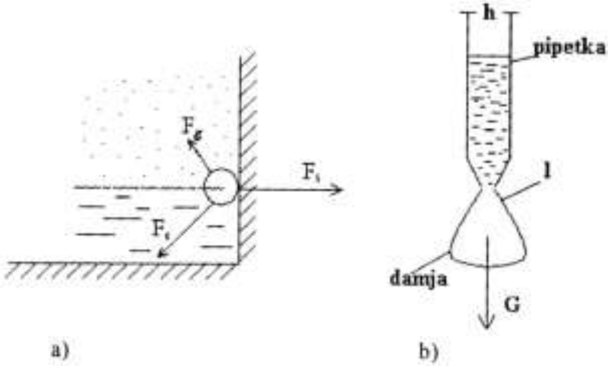
onda gysylýan suwuklyk üçin mehanikada belli Gukyň kanuny alynar.

Aşakda käbir suwuklyklaryñ göwrüm gysylma garşylyk modulynyñ ululygy getirilýär:

Suw ....K_p=2100 MPa;
Simap ....K_p=25000 MPa;
Gliserin ....K_p=4300 MPa;
Kerosin.........................K_p=135 MPa;
Motor ýaglary ....K_p=1300 MPa;
Uçar ýaglary ....K_p=1350 MPa;
Industrial ýaglar...........K_p=1350-1530 MPa;

Tebigy suwuklyklaryñ göwrüm gysylma garşylyk modulynyñ ululygy ΔP=1-500 atm çäklerinde üýtgemeýän ululyk höküminde kabul edilýär. Dürli görnüşli ýaglaryñ we beýleki nebit önümlerniñ göwrüm gysylma garşylyk modulynyñ ululygy basyşyñ ululygyna laýyklykda kabul edilmelidir.

Üst dartylma güýji: Suwuklyklaryň göwrümlerini çäklendirýän üst (daşky) gatlaklarda çekiji (süýndiriji, ýolujy, goparyjy) güýçlere garşy üst dartylma güýçleri döreýändir. Bu güýji we onuň esasynda döreýän hadysalary hemme şertlerde görmek mümkin däldir. Muny kapillýarlarda, pezometrlerde we ş.m görüp bolar. 1.1a. suratda üç madda halyň (gaty jisim, suwuklyk we gaz) galtaşýan çäginde ýerleşen molekulanyň deňagramlygy görkezilipdir. Bu ýerde F_j, F_s we F_g - dürli haldaky maddalar tarapyndan molekula täsir edýän çekiji güýçleriň deňtäsiredijileridir. Bu ýagdaýda seredilýän molekulanyň (üstiň) haýsy tarapa hereket etjekdigi, güýçleriň ululygyna, has takygy olaryň geometrik jeminiň ululygyna we ugruna baglylygy şübhesizdir. Üst dartylma güýjiniň täsirini we häsiýetini mysalda göz öňüne getirmek maksady bilen, atmosfera ýagynlarynyň ýa-da kosmos giňişliginde (gemilerinde) suwuň islendik erkin göwrüminiň şar şekilli bolýandygyny ýeriň gatlaklarynda we ösümlikleriň suw aýlanşynda suwuklygyň hereketi esasan kapilýar öýjüklerdäki erkin ýokary galmanyň netijesidigni bilmek ýeterlikdir.



1.1-nji surat

Eger-de F_s güýç agdyklyk etse, onda suwuklygyň üsti (meniski) aşaklygyna süýşer, eger-de F_j güýç agdyklyk etse, onda menisk (üst) beýikligine süýşer. Bu hadysa kapillýarlyk ýa-da kapilýar hereket diýilýär. Kapillýar turbajyklarda, tebigy kapillýarlarda suwuklygyň süýşmegi (hereketi) uly aralyklar bolýandygy hakykatdyr.

Suwuklyklarda üst dartylma güýji häsiýetlendirýän ululyga üst dartylma koeffisiýenti (α_0) diýilýär. Bu fiziki ululygy islendik suwuklyk üçin, onuň bir damjasynyň görkezijileri boýunça kesgitläp bolar:

$$\alpha_0 = \frac{G}{\pi d}, \qquad (\frac{N}{m}) \tag{1.12}$$

Bu ýerde, G-damjanyň agramy, d - damjanyň esasy suwuklyk göwrüminden aýrylýan pursadyndaky kese kesiginiň uzynlyk ölçegi (m) (1. 1 b surata seret).

Deňeşdirme mysalynda käbir suwuklyklaryň üst dartylma koeffisýentiniň α_0 ululyklaryny getirýäris. (t=+20 ^{0}C, gurşaw giňişligi howa): suw 0,081 N/m; benzin 0,021; simap 0,541; çalgy ýaglary 0,035-0,038;

Gazlaryň häsiýetleri: Bilişimiz ýaly, suwuklyklardan tapawutlylykda gazlar dürli faktorlaryň täsiri zerarly öz tutýan göwrümlerini ýeňil üýtgetmeklige ukyplydyrlar. Hemişelik temperaturada basyşyň P ululygyna baglylykda gazyň göwrüminiň üýtgemek kanuny Boýl (1669 ý) we Mariott (1676 ý) aşakdaky görnüşde ýazyp beýan etdiler:

$$PV=const \tag{1.13}$$

bu ýerde, V - udel göwrüm ýa-da gazyň agram birliginiň göwrümi.

Hemişelik basyşda gazyň göwrüminiň temperatura baglylykda üýtgemegi Ge-Lýussak (1802ý) tarapyndan takyk kesgitlenildi. Hemişelik basyşda gazyň berlen massasy 1°C gyzdyrylanda öz göwrümini 0°C temperaturadaky tutýan göwrüminiň α= 1/273 bölegine ulaldýar. Bu hemişelik α ululyk gazyň ýylylyk giňelme koefflsiýenti diýilip atlandyryldy we has takyk kesgitlemelere görä onuň ululygy α=1/273,15 deňligi anyklanyldy.

Şunlukda, ideal gazyň 0°C-dan t °C çenli üýtgeýän temperaturadaky göwrümini we basyşyny kesgitlemek üçin degişli gatnaşyklary ulanyp bolar:

$$V=V_0(,(l+\alpha t) \tag{1.14}$$

$$P=P_0(l+\alpha t) \tag{1.15}$$

Eger-de Selsiýa (°C) şkalasynyň 0-ny +273,I5° diýip kabul etsek, onda ýokarda getirilen gaz halynyň deňlemelerini has ýönekeý we umumy görnüşde ýazyp bolar. Bu ýylylyk ölçeg şkalasyna absolýut şkala diýilýär. Onuň başlangyç nokady ýa-da noly Selsiýa gradusynda - 273,15° deňdir. Ýylylygyň bu derejesine absolýut nol diýilýär we temperaturanyň halkara ölçeg birligi bolan kelwin (°K) gradusynyň başlangyç nokady ýa-da noly (T_0) bolup hyzmat edýär.

Şunlukda, gazyň T temperaturasy absolýut şkala boýunça T=273,l 5+t°C kabul ediler, bu bolsa adaty ýylylyk ölçeginde t=T-273,l 5°C deň bolar.

Onda 1.14 deňlemäni

$$V = V_0\left(1 + \frac{T-273{,}15}{273{,}15}\right) = V_0\frac{T}{273{,}15} = V_0\frac{T}{T_0} \qquad (1.16)$$

görnüşde ýazyp bolar.

ýa-da

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \qquad (1.17)$$

hem-de 2.15 üçin

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0} \qquad (1.18)$$

Şeýlelikde, gazyň hemişelik massasy üçin aşakdaky wajyp gatnaşyklary alyp bolar:

T=const bolanda $PV=const$

P=const bolanda $\frac{V}{T} - const$ (1.19)

V=const bolanda. $\frac{P}{T} - const$

Bu gatnaşyklary bilelikde seredip, P, V we T ululyklary birleşdiriji hem-de gaz halyny san we hil taýdan doly beýan ediji esasy deňlemäni alyp bolar.

Goý T_1 temperaturada we P_1 basyşda gazyň udel göwrümi V_1 bolsun, onda T_2

temperaturada we öňki P_1 basyşda onuň V' udel göwrümi $\frac{V_1'}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$ bolar, ýa-da

$$V_1' = V_1 \frac{T_2}{T_1} \qquad (1.20)$$

Gazyň V_2 udel göwrümi öňki T_2 temperaturada, emma P_2 üýtgän basyşda $P_1V'_1=P_2V_2$ ýa-da V'_1 ululygyny (1.20) ýerine goýup

$$P_1V_1\frac{T_2}{T_1} = P_2V_2$$ alynar.

Soňky deňlemedäki ululyklary tertipleşdirip şeýle görnüşde $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ ýazyp bolar. Onda

$$\frac{PV}{T} = const$$

ýa-da

$$PV=RT \qquad (1.21)$$

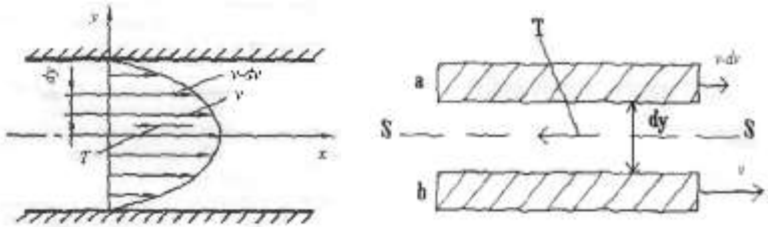
Soňky (1.21) deňleme ideal gaz üçin Klapeýperonyň deňlemesidir. Bu deňlemede R seredilýän gazyň hemişeligidir. Onuň ululygy gazyň düzümine we M molekulýar agramyna baglydyr. Islendik gazyň hemişeligi onuň 1 kilogramynyň hemişelik basyşda (P=const) 1°C temperatura gyzdyrylanda edip biljek işiniň ululygyny aňladýandyr. Onda

$$R = \frac{848}{M}\left[\frac{kgg.m}{kg.s}\right]; \qquad (1.22)$$

Meselem, howa üçin $R = \frac{848}{28{,}95} = 29{,}27\,\frac{kgg.m}{kg.s}$

Şepbeşiklik: Hereket edýän suwuklyk (gaz) göwrümini emele getirýän bölejikleriň (gatlaklaryň, çüwdürimleriň, üstleriň) akymyň çäginde dürli şertlerde bolýandyklary sebäpli, olaryň hereketleri üznüksiz bolsada, tizlikleri biri-birinden tapawutlydyrlar ýa-da otnasitel ululykdadyrlar. Bu ýagdaýy islendik akymda, hususanda kanallardaky we turbalardaky akymlarda has aýdyň görmek bolar. Tapawutly tizlikli ýa-da otnasitel hereketleriň döremegine we olaryň durnukly derejesini saklamaklyga sarp edilýän güýje Nýutonyň sözi bilen aýdylanda ″içki sürtülme güýji″ ýa-da şepbeşiklik diýilýär. Diýmek, şepbişiklik, suwuklyk (gaz) akymynyň hereketlendiriji güýçlerine garşy döreýän güýji häsiýetlendirýän we kesgitleýän fiziki ululykdyr.

Suwuklyk akymynyň düzüminde hereket edýän iki ýanaşyk gatlagyň deňagramlygyna seredeliň (1.2 surat). Tizlikleriň tapawudyna (dV) proporsional, umumy sürtülme tekizligiň (S-S ugry bilen, tizlik wektoryna garşylykly ugurda T ululykly sürtülme güýji döreýär.



1.2-nji surat.

Bu güýjiň ululygy

$$T = \frac{\mu s dV}{dy} \qquad (1.23)$$

ýa-da

$$\tau = \frac{T}{s} = \frac{\mu dV}{dy}\,; \qquad H/m^2, \qquad (1.24)$$

τ - sürtülme güýjiniň güýjenmesi, μ - şepbeşikligiň dinamiki koeffisiýenti, d $\frac{dv}{dy}$ - tizlik gradiýenti. Eger-de (1.24) aňlatmany μ üçin ýazsak, ýagny

$$\mu = \frac{\varepsilon dy}{dV\mu}, \qquad Ns/m^2, \text{ Pa.s-Paskal sekund} \qquad (1.25),$$

onda şepbeşikligiň dinamiki koeffisiýentiniň, otnositel hereket edýän suwuklygyň sürtülme meýdanynda wagt birliginde döreýän şepbeşiklik güýjiniň güýjenmesiniň ululygyny aňladýandygy subut ediler. Diýmek, dinamiki şepbeşiklik wagt birliginde döreýän içki sürtülme güýjenmesidir. Diýmek şepbeşiklik gs/sm^2 μ=l $gfs/sm^2=1P_u$ (P_{uaz}) ýa-da SGSE fiziki ölçeg birliginde dinamiki şepbeşikligiň giň ýáýran ölçeg birligidir.

Gidrawlikada şepbeşikligiň kinematiki koeffisiýenti (*v*) hem giňden ulanylýar. Bu ululygyň aňlatmasy

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad m^2/s \qquad (2.26),$$

Onuň fiziki manysy aşakdakydan ybaratdyr: şepbeşikligiň kinematiki koeffisiýenti otnositel hereket edýän suwuklykda wagt birliginde döreýän (süýşýän, typýan) üstiň ulylygyny aňladýandyr. Diýmek, kinematiki şepbişiklik güýji otnositel sürtülýän (typýan) üstiň meýdanynyň ululygydyr. Ululygy *v*=l sm^2/s=l Cт deň bolan kinematiki şepbeşiklige Stoks diýilýär. Gidrohereketlendiriji ulgamlarda ulanylýan işçi gidrawliki ýaglaryň kinematiki şepbeşikligi dünýä praktikasynda esasan santistoks (cCт) birliginde aňladylýar. 1 cCт=0,01 Cт=1mm^2/s

Aşakda, 1.2-nji tablisada käbir suwuklyklaryñ dinamiki we kinematiki şepbeşiklik koeffisýentleriniñ ululyklary getirilýär.

Suwuklyklaryñ t=+20 ^{0}C tempiraturada şepbeşikligiñ ululyklary.

1.2-nji tablisa

Suwuklukar	Şepbeşiklik koeffisiýenti	
	Dinamiki μ, Pa·S	Kinematiki $\gamma \cdot 10^{-4}$ m^2/s
Arassa tebigy suwy	0,001	0,0101
Benzinler (t=+15 ^{0}C)	0,0006-0,0008	0,0083-0,010
Kerosinler (t=+15 ^{0}C)	0,0016-0,0025	0,02-0,03
Gliserin	0,512	4,10
Kastor ýagy	0,972	10,02
Mineral ýaglar	0,0275-1,29	0,313-14,5
Nebitler (t=+15 ^{0}C)	0,007	0,081-0,093
Simap	0,0015	0,0011
Etil spirti	0,00119	0,0151
Suwuk kömür kislatasy	0,00002	0,000202
Howa	0,0168	0,157

Tablisadan görnüşi ýaly suwukluklaryñ şepbeşikligi biri-birinden has tapawutlydyrlar. Suw bilen deñeşdirilende suwuk kömür kislotasynyñ şepbeşikligi 50 esse kiçidir, kastor ýagy bilen deñeşdirilende suwuñ şepbeşikligi 1000 esse kiçidir. Suwukluklary turbalar arkaly akdyrmak meselesinde olaryñ şepbeşiklik görkezijisi esasy kesgitleýjisi hem-de goşmaça çykdaýjy emele getiriji görkezijidir.

Suwuklyklaryň we gazlaryň şepbeşikligi olaryň temperaturasy we basyşy bilen baglanyşyklydyr. Ähli suwuklyklaryň şepbeşikligi temperatura ulaldygyça kiçelýändir. Gazlaryň şepbeşikligi tersine-ulalýandyr.

Islendik temperaturada suwuklyklaryň şepbeşikligi fransuz alymy Puazeýliñ formulasy boýunça kesgitlenilýär:

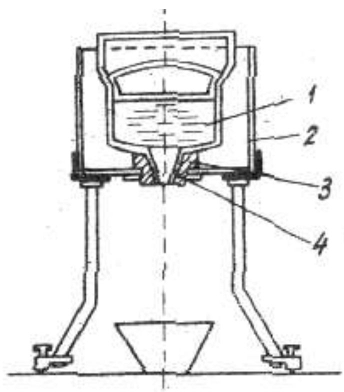
$$\nu = \frac{\nu_0}{1+\alpha t+\beta t^2} \qquad (2.27)$$

Bu ýerde: ν_0- normal şertdäki kinematiki şepbeşiklik, t- suwuklygyň temperaturasy, α we β-suwuklyklaryň aýratynlyklaryna baglylykda kabul edilýän hemişelik ululyklar. Suw üçin 1.27 formula girýän ululyklaryñ san bahalary γ_0=0,0178 Pu (t=0 ^{0}C), α=0,0337; β=0,000221

Suwuklyklaryň we gazlaryň şepbeşikligi basyş ulaldygyça ulalýandyrlar. Emma gazlar üçin basyşyň belli bir kritiki ulylygyndan soň şepbeşiklik has kiçelýändir.

Suwuklyklaryň şepbeşikligi meýdan we tejribehana şertlerinde kabul edilen şertli birliklerde kesgitlenilýär we soňra adaty birliklere ýörite aňlatmalar ýa-da grafikler arkaly geçirilýär.

Suwuklyklaryň şepbeşikligi wiskozimetrlerde ölçenilýär. Tehnikada, önümçilikde we ylymda köplenç halatlarda nemes alymy Engleriñ wiskozometri ulanylýar. (1.3-nji surat)



1.3-nji surat.

Bu ölçeg enjamyñ 200 sm^3 göwrümli latundan ýasalan silindr şekilli 1 etalon gabyna derñelmeli suwuklyk guýylýar. Etalon gabyñ içi ýokary hilli reñkli metal gabygy bilen örtülýär. Derñelýän suwuklykly etalon gap 2 belgili suw wannasynda ýerleşýär hem-de iki sagatdan az bolmadyk wagytda awtomatiki kadada degişli tempiratura çenli gyzdyrylýar ýa-da sowadylýar. Etalon gabyñ güberçek şekilli düýbinde 3 belgili latun turbajygy we oña geýdirilen ýörite dykyly 4 belgili platina turbajygy ýerleşdirilýär. Derñew mahalynda diñe etalon gabyndaky suwuklygyñ erkin akyp çykýan t_1-wagty ölçenýär.

Onda, derñelýän suwuklygyñ şertli şepbeşikliginiñ (ŞŞ) $E_{şş}$ ululygy t_1 we t_0 (derñew şertlerinde etalon gapdan distilirlenen suwuñ erkin akyp çykýan wagty), wagtlaryñ gatnaşygy görnüşinde kesgitlenilýär.

$$E_{şş} = \frac{t_1}{t_0} \qquad (1.28)$$

Kesgitlenen $E_{şş}$ şertleri şepbeşiklige Engleriñ şepbeşikligi ýa-da Engleriñ gradusy diýilýär.

Derñelen suwuklygyñ şepbeşikligniñ kinematiki koeffisýentiniñ ululygy ylymda Kabul edilen empriki geçiş formulalaryñ kömegi bilen hasaplanylýar.

Ubellodyñ (iñlis alymy) empriki formulasy:

$$\lambda = 0.0732; \qquad E_{şş} - \frac{0.0631}{E_{şş}}, \quad \frac{sm2}{s} \qquad (1.29)$$

Fogeniñ (nemes alymy) has takyk emperiki formulasy:

$$\lambda = 0.01\ E_{şş}\ 7.6\ (1- \frac{1}{E_{şş}}) \qquad \frac{sm2}{s} \qquad (1.30)$$

Meseleler we mysallar

1. Göwrümi V_1=I25 m^3, dykyzlygy $\rho_{\square}$=760 kg/m^3 ýeňil nebit saklanýan rezerwuara ýene-de göwrümi V_2=224 m^3 we dykyzlygy. ρ_2=848 kg/m^3 bolan agyr nebit guýulypdyr.Garylan nebitleriň orta dykyzlygyny kesgitlemeli.

Garylan nebitleriň orta dykyzlygyny aşakdaky aňlatma boýunça kesgitläp bolar:

$$\rho_{g.n} = \frac{M_1 + M_2}{V_1 + V_2} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

Bu ýerde:

M_1 - dykyzlygy ρ_1 bolan ýeňil nebitiň massasy:

M_2 - dykyzlygy ρ_2 bolan agyr nebitiň massasy.

Onda degişli berlen ululyklary aňlatmada ýerine goýup, garylan nebitleriň orta dykyzlygynyň ululygyny kesgitläp bolar:

$$\rho_{g.n} = \frac{760 - 125 + 848 - 224}{125 + 224} = \frac{284952}{349} = 816{,}48\ kg/m^3$$

Jogaby: $p_{g.n}$=816, 48 kg/m^3

2. Ölçemeleri D=350 mm we H=1200 mm bolan silindr şekilli suwuk gaz saklanýan ballony gidrawliki barlag geçirmek üçin göwrümi V_2 we basyşy $P_2=60\cdot10^5$ Pa bolan suw bilen doldyryldy. V_2 göwrümiň ululygyny kesgitlemeli.

Çözülişi.

Normal şertlerde ($P_1=9{,}81\cdot10^4$ Pa; T=293°k) ballona onuň erkin V_1 göwrümine laýyk suw guýup bolar. Bu suwuň göwrümi.

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4H} = 3.14 \cdot \frac{0.35^2}{4 \cdot 1.2} = 0.155395 m^3$$

Ululygy $P_2=60 \cdot 10^5$ Pa basyşly ballona guýulýan suwuň göwrümi, onuň göwrüm gysylma häsiýetine laýyklykda aşakdaky aňlatma boýunça kesgitläp bolar:

$$V_2 = V_1 + \triangle V = V_1 + \frac{V_1(P_2 - P_1)}{K_0} = 0,155395 + \frac{0,155395\,(60 - 0,981)10^5}{1962\ \cdot 10^6}$$

$$V_2 = 0,155395 + \frac{6,8105 \cdot 10^5}{1962\ \cdot 10^6} = 0,155395 + 0,000347 < 0,155742\, m^3$$

Bu aňlatmada $K_0=19,62 \cdot 10^8 P_a$ – suwuň göwrüm maýyşgaklygynyň (garşylygynyň) moduly

Diýmek, suwdan doldurylan ballondaky basyş 60 esse ulaldylanda, suwuň göwrümi 0,34 dm^3 ýa-da 0,3 % kiçelýär.

Jogaby: $V_2=155,742 dm^3$.

3. Temperaturasy $T_1=288°K$ nebitiň dykyzlygy $\rho_{□}=828$ kg/m^3 deňdir. $T_2=295°K$ temperaturada onuň şertli şepbeşikli ŞŞ=6,4°E (°E - nemes alymy Engleriň derejesi. Bu birlik suwuklyklaryň şepbeşikligini şertlerinde şertli şepbežiklik hökmünde ulanylýar). Nebitiň şepbeşikliginiň dinamiki μ we kinematiki υ koefisiýentleriniň ululygyny kesgitlemeli.

Çözülişi.

Islendik temperaturada suwuklyklaryň (nebitiň) dykyzlygny aşakdaky aňlatmanyň kömegi bilen kesgitläp bolar.

$$\rho_2=\rho_{□}(l-\alpha_\tau \Delta T)=\rho_{□}[1-\alpha_\tau(T_2-T_1)];$$

Bu ýerde:

α_τ - nebitiň ýylylyk giňelme koefisiýenti, $T_1=288°K$ bolanda $\alpha_\tau=0,00077°K^{-1}$; Onda,

p_2=828 [l-0,00077(295-288)]=823,5 kg/m^3;

Nebitiň şepbeşikliginiň kinematiki koefisiýenti T_2=295°K bolanda Ubbelodeniň emperiki formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$v_2 = \left(0{,}0631ŞŞ - \frac{0{,}0631}{SS}\right)\cdot 10^{-4} = \left(0{,}0731\cdot 6{,}4 - \frac{0{,}0631}{6{,}4}\right)\cdot 10^{-4} = 0{,}458\cdot 10^{-4}\ m^2/s$$

Nebitiň şepbeşikliginiň dinamiki koefisiýenti T_2=295°K bolanda:

$\mu_2 = v_2 \cdot \rho_2 = 0{,}458 \cdot 10^{-4} \cdot 823{,}5 = 0{,}03772$ Pa·s.

Jogaby: $v_2 = 0{,}458 \cdot 10^{-4}$ m^2/s=0,458 St:

$\mu_2 = 0{,}03772$ Pa·s=$3{,}772 \cdot 10^{-5}$ Pu.

4. Agramy G=320000 kg, temperaturasy T_2=303°K bolan dizel ýangyjynyň tutýan göwrümini kesgitlemeli. Ýangyjyň temperaturasy 20°K peselende onuň göwrümi nähili üýtgär? Dizel ýangyjynyň ýylylyk giňelme koefisiýentiniň ululygyny α_t=0,00068°K^{-1} kabul etmeli.

5. Mator ýagynyň göwrüm agyrlygy γ=883 kg/m^3. Ýagyň temperaturasy 30°K ulalanda onuň şertli şepbeşikliginiň ululygy ŞŞ=7°E. Onuň şepbeşikliginiň dinamiki we kinematiki koefisiýentleriniň ululygyny kesgitlemeli.

6. Absolýut gaty diwarly ýapyk gaba 36 dm^3 nebit normal basyşda guýulypdyr. Gabyň içindäki basyşy 25 esse ulaltmak üçin oňa ýene-de näçe dm^3 suwuklygy goşmaça guýmaly? Nebitiň göwrüm gysylma modulyny K_0=1325 MPa kabul etmeli.

7. Nebitiň şepbeşikliginiň kinematiki koefisiýenti onuň ýylylyk derejesi t_1=10°C bolanda v_1=21Pa·S deň, t_2=35° bolanda v_2=0,3 Pa·S. Nebitiň şepbeşikligini t_3=20°C kesgitlemeli.

2-nji bap. GIDROSTATIKA

Gidrawlikanyň suwuklaryň we gazlaryň deňagramlyk kanunlaryny öwredýän bölümine gidrostatika diýilýär. Gidrostatikanyň esasy meseleleri aşakdakylardan ybaratdyr: suwuklyk göwrümine täsir edýän güýçleri anyklamak we olaryň deňagramlyk şertlerini häsiýetlendirmek, göwrümiň islendik nokadynda gidrostatiki basyşyň ululygyny kesgitlemek; göwrümde we üstlerde gidrostatiki basyşyň ululygyny we paýlanyşyny kesgitlemek; Paskalyň kanunyny we oňa esaslanan maşynlaryň işleýiş prinsiplerini öwrenmek; dürli şekilli üstlere täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygyny we basyş merkeziniň kordinatyny kesgitlemek; gidrostatiki basyş epýurlaryny we göwrümlerini gurmak; Arhimediň kanunyny öwrenmek we jisimleriň ýüzmeklik we deňagramlyk şertlerini kesgitlemek.

Ýokarda agzalan meseleleri çözmeklikde gidrostatikanyň ulanýan usullary, fizikanyň, nazary mehanikanyň we matematikanyň nusgawy usullaryna esaslanýandyr.

2.1 Asuda halda suwuklyklara täsir edýän güýçler we gidrostatikanyň esasy meselesi

Islendik suwuklyk göwrümine asuda we deňagramlyk ýagdaýda güýçleriň iki görnüşi täsir edýändir:

1. Daşky ýa-da üst güýçleri. Bu güýçler toplumy seredilýän göwrümiň daşky çäklendiriji üstüne täsir edýän güýçlerdir we olaryň ululygy üstiň meýdanynyň ululygyna göni proporsionaldyr. Bu güýçler göwrümi gurşap alan gurşawyñ basyş (gysyjy) ýa-da agyrlyk güýji, atmosferanyň basyşy we ş.m. bolyp bilerler.

2. Içki ýa-da massa güýçleri.

Bu güýçler toplumy seredilýän göwrümiň hut öz hususy göwrüminde döreýän we onuň massasynyň ululygyna proporsional güýçlerdir. Massa güýçlerine agyrlyk, inersiýa, maýyşgaklyk we ş.m. güýçler girip bilerler. Mysal üçin seredilýän suwuklyk göwrüminiň ölçemeleri dx,dy,dz bolanda, onuň agramy dG=ρ·g·dx·dy·dz, we massasy dM=p·dx·dy·dz bolar. Eger-de massa güýçleriniň tizlenmeleriniň degişli proeksiýalary F_x, F_y, F_z bolsa, onda elementar göwrümde döreýän massa güýçleriniň proeksiýalarynyň ululyklary dG_x=p·dx·dy·dz·F_x; dG_y=p·dx·dy·dz·F_y, dG_z=p·dx·dy·dz·F_z bolarlar.

Gidrostatikanyň esasy meselesi-islendik suwuklyk göwrümine täsir edýän üst we massa güýçlerini san we hil taýdan hem-de bu güýçleriñ bilelikde täsiriniñ potensiallary netijesinde döreýän içki dargynlyk ýagdaýyñ deñagramlylygy üpjün edýän esasy statiki şertdigini matematikanyñ takyk usullary arkaly subut etmekdir.

2.2 Gidrostatiki basyş we onuň häsiýetleri

Asuda we deňagramlyk ýagdaýyny saklaýan suwuklyk göwrüminiň esasy mehaniki häsiýetnamasy onuň içki dartgynlyk ýagdaýydyr. Bu ýagdaý, ýokarda bellenişi ýaly, göwrüme täsir edýän daşky we içki güýçleriň jemleýji netijesidir.

Suwuklyk göwrüminiň (sütüniniň) döredýän içki dartgynlyk jemleýji güýjiniň güýjenmesine gidrostatiki basyş diýilýär. Bu kesgitleme aňlatma görnüşinde şeýle ýazylyp biliner:

$$p = \frac{P}{\omega} \tag{2.1}$$

bu ýerde: p-gidrostatiki basyşyň ululygy, N/M^2, kgf/sm^2, kgf/m^2... T-göwrüme (sütüne) täsir edýän, daşky we içki güýçleriň deňtäsiredijisi (N, gf, kgf, tf-massanyñ ölçeg birliklerini (g,kg,t) agram ýa-da güýç birlikleri höküminde ulanmak üçin girizilen güýç belgili goşundydyr. Şeýle bu birligi G, kG, T belgileri bilen añladyp bolar) ω-göwrümiň (sütüniň) kesiginiň meýdany (m^2, sm^2, mm^2,…) Eger-de suwuklyk göwrüminiň (sütüniniň) kesiginiň meýdany çäksiz kiçeldilse, onda p´=lim(p/ω) w-gidrostatiki basyşyň nokatdaky ululygyny aňladar.

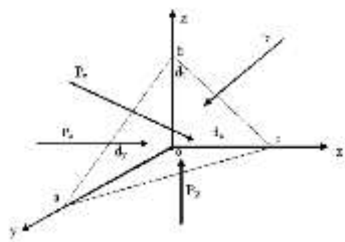
Gidrostatiki basyş öz döreýiş tebigaty boýunça gysyjy (dykyzlandyryjy) güýçdir sebäbi asuda we deñagramlylyk haldaky suwuklygyñ ýa-da gaz göwrümlerinde diñe gysyjy güýç bu şerti kanagatlandyrar.

Gidrostatiki basyşyň esasan iki häsiýeti bardyr.

1-nji häsiýet: gidrostatiki basyş islendik üste içki normal boýunça täsir edýändir. Bu teorema gidrostatik basyşyň wekto ululykdygyny we onuň islendik üste suwuklyk tarapyndan inderilen perpendikulýar ugur boýunça täsir edýändigini tassyklaýar. Bu teoremanyň subutnamasy hökmünde, gidrostatik basyşyň üstlere başga (ters) ugurlar boýunça täsir edende, suwuklyklarda statikanyň esasy talabyna (asudalyk, deňagramlyk) gabat gelmeýän hadysalaryň ýüze çykjakdygyna göz ýetirmek ýeterlikdir.

2-nji häsiýet: suwuklyk göwrüminiň islendik nokadynda gidrostatiki basyşyň ululygy ähli ugurlar boýunça üýtgrýän ululykdyr. Bu teorema gidrostatiki basyşyň ululygyny, onuň suwuklyk göwrüminde we üstlere ýaýraýşyny we paýlanyşyny kesgitleýän esasy teoremadyr.

Bu teoremanyň takyk matematiki subutnamasyna aşakdaky 2.1-nji suratda şekillendirilen mysalda seredip bolar.



2.1-nji surat

Asuda suwuklyk göwrüminden alynan dx, dy, dz ölçemeli 0abc elementar fraýderiň çäklendiriji üstlerine täsir edýän Px, Py, Pz güýçleri deňeşdireliň. Bu güýçleriň ugurlary ýokarda seredilen birinji teorema görä, degişli elementar üstlere normal ugurlar boýunça ugrykdyrlandyr. Olaryň ululyklary

$$P_x = \frac{1}{2} dydx \cdot P_x; \qquad P_y = \frac{1}{2} dxdz \cdot P_y; \qquad P_z = \frac{1}{2} dxdy \cdot P_z; \qquad (2.2)$$

bu ýerde P_x, P_y, P_z aob boc we aoc elementar üstleriň agyrlyk merkezindäki degişli gidrostatiki basyşlardyr. Eger-de elementar ölçemeler dx, dy, dz tükeniksiz kiçeldilse, tetraýderiň göwrümi tükeniksiz kiçeler we nokada öwrüler. Diýmek P_x, P_y, P_z we P_n bir nokatda we dürli ugurlarda täsir edýän deň ululykly gidrostatiki basyş güýçleridir. Şunlukda $P_x=P_y=P_z=P_n$

Bellik: suwuklyk göwrüminde (giňişliginde) gidrostatiki basyşyň ululygy, onuň täsir edýän nokadynyň koordinatlaryna baglydyr. Onda,

$$P=f(x;y;z), \qquad (2.3)$$

x, y, z - nokadyň kabul edilen giňişlikdäki koordinatlary. Gidrostatiki basyşyň üznüksiz doly üýtgeýän ululygy

$$dP = \frac{\partial P}{\partial x} dx + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz \qquad (2.4)$$

bu ýerde dx, dy, dz – nokadyň koordinatlarynyň üýtgeýän ululyklary

$\frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial P}{\partial y}, \frac{\partial P}{\partial z}$ – gidrostatiki basyşyň degişli ugrlardaky hususy gradiýentleri.

2.3 Gidrostatikanyň esasy deňlemeleri

Gidrostatikanyň esasy deňlemeleri differensial we analitik görnüşlerde ýokarda agzalan meseleleri, ýagny, suwuklyklara täsir edýän güýçleriň deňagramlyk şertlerini, gidrostatik basyşyň üstlere paýlanyş kanunlaryny, suwuklyk göwrüminiň islendik nokadynda gidrostatiki basyşyň ululygynyň kesgitlenilişini we beýlekileri takyk çözýän, subut edýän deňlemelerdir. Aşakda biri-birine baglanyşykda gidrostatikanyñ esasy deñlemesiniñ gelip çykyşynyña we olaryñ çözýän mysallaryna serediler.

Suwuklyklaryň deňagramlygynyň differensial deňlemesi 1755-nji ýylda genial rus alymy Leonardo Eýler tarapyndan düzüldi:

$$Fx - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

$$Fy - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \qquad (2.5)$$

$$Fz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} = 0$$

Bu deňlemede F_x, F_y, F_z - suwuklyk göwrümine täsir edýän massa güýçleriniň tizlenmeleriniň degişli proeksiýalary, ρ - suwuklygyň dykyzlygy, $\partial P/\partial x$, $\partial P/\partial y$, $\partial P/\partial z$ – seredýän elementar göwrüme täsir edýän daşky güýçleriň degişli gradiýentleri.

Gidrostatikanyň differensial deňlemesi aşakdaky kesgitlemäni aňladýar: deňagramlyk halyny seredilýän suwuklyk göwrümine täsir edýän içki massa güýçleriniň tizlenmeleriniň degişli proeksiýalarynyň we daşky üst güýçleriniň degişli gradiýentleriniň algebraik jemleri nola deňdir. Diýmek, suwuklyk göwrüminiň asudalygynyň we ona täsir edýän güýçleriň deňagramlygynyň esasy şerti, olaryň potensiallarynyň (iş edip bilijilik ykybynyň) özara deňligidir.

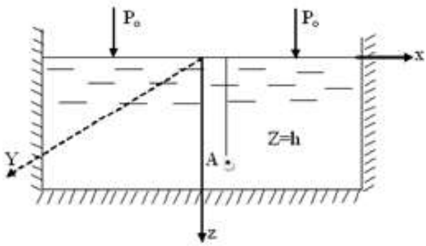
Eýleriň deferensial deňlemeler sistemasy gidromehanika ylmynyň matematiki we nazary başlangyjydyr we onuň esasydyr.

Bu deňlemeler sistemasyny belli usul bilen ýönekeýleşdirenimizde we çyzykly deňleme görnüşine getirenimizde ol **gidrostatikanyň esasy differensial deňlemesine** öwrüler.

$$dP=\rho(F_x dx+F_y dy+F_z dz); \qquad (2.6)$$

Bu deňlemede dP – daşky güýçleriň ýa-da gidrostatiki basyş güýjiniň doly üýtgeýän ululygy, $F_x dx+F_y dy+F_z dz$. – massa güýçleriniň birlikleriniň elementar işleriniň jemi. Görüşimiz ýaly bu deňleme statiki deňagramlygyň mukdar hasabyny has takyk matematiki görnüşde beýan edýär.

Gidrostatikanyň esasy differensial deňlemesiniň has giň ulanylýan çözgüdine mysal hökmünde 2.2-nji suratda görkezilen asuda suwuklyk göwrümine seredeliň.



2.2-nji surat

Tizlenmesi g ululykly agyrlyk güýji täsir edýän ρ dykyzlykly asuda suwuklyk göwrüminiň wertikal koordinaty (çuňlygy h) z bolan A nokadynda doly gidrostatiki basyşyň P ululygyny kesgitläliň.

Berlen şert üçin $F_x=0$, $F_y=0$, $F_z=g$.

Onda gidrostatikanyñ esasy differensial deňlemesi şu görnüşe geler

$$dP=\rho g dz. \qquad (2.7)$$

(2.7) Deňlemäni integrirläp şu görnüşde ýazaris:

$$P=\rho gz+C \qquad (2.8)$$

Ýokarda alynan 2.7 we 2.8 deñlemeleriñ ýönekeý, emma uly ähmiýetli manysy bardyr, ýagny diñe hususy agyrlyk we hemişelik üst basyşy täsir edýän suwuklyk göwrümlerinde (tebigy we emeli şertlerinde çykýan ähli suwuklyklar) gidrostatiki basyş diñe çuñluga baglylykda 2.8 deñlemede integralyň hemişeligini berlen belli şert esasynda, ýagny, suwuklygyň üst tekizliginiň islendik nokady üçin (z=0) gidrostatiki basyşyň ululygy hemişelik $P=P_0$ ululykly daşky ýa-da üst basyşa deňdiginden kesgitleýäris. Şeýlelikde $C=P_0$ A nokatda doly absolýut gidrostatiki basyşyň ululygy

$$P=P_0+\rho gh \qquad (2.9)$$

bolar. Alynan 2.9-deňleme gidrostatikanyň esasy deňlemesi diýlip atlandyrylýar. Bu deňleme teorema derejesinde şeýle okalýar: otnositel asudalygyny saklaýan suwuklyk göwrüminiň islendik nokadynda doly absolýut gidrostatiki basyşyň (P) ululygy hemişelik ululykdaky (P_0) üst basyşyň we beýikligi nokadyň (h) çuňlygyna deň bolan suwuklyk sütüniniň agramynyň döredýän artykmaç (agyrlyk) basyşynyň (ρgh) jemine deňdir.

Gidrostatikanyň esasy deňlemesi praktikada we tehnikada gabat gelýän köp sanly amaly meseleleriň we mysallaryň çözgüdini özünde jemleýär. Bu tezisiň subutnamasy hökmünde suwuklyk göwrüminiň ähli nokatlaryna üst basyşyň geçişine (ýaýraýşyna) seredeliň. Bu hadysa mehanikada Paskalyň kanuny diýilýär we ol şeýle okalýar: Suwuklyklara täsir edýän daşky üst basyşy onuň ähli nokatlaryna üýtgemeýän ululykda ýaýraýar. Paskalyñ kanunyna esaslanýan mysallar we gidrohereketlendiriji ulgamlar şu kitabyň XI bapynda giñişleýin seredilýär.

Paskalyň kanunynyň subutnamasy hökmünde ýene-de ýokarda seredilen mysala ýüzlenip bileris. Hakykatdan hem seredilen göwrümiň islendik (i) nokady üçin doly gidrostatiki basyşyň ululygy $P_i=P_0+\rho g h_i$ bolar. Diýmek, daşky hemişelik (P_0 üst basyşy göwrümiň ähli nokadyna (P_0=const) üýtgemeýän ululykda geçýär.

Gidrostatikanyň ýene-de bir deňlemesine deň basyşly üstleriň deňlemesi diýilýär. Bu deňleme gidrostatikanyň esasy differensial deňlemesinden, deň basyşly üstler üçin basyşyñ üýtgemeýänligini (dP=0) we seredilýän suwuklyk göwrümi üçin dykyzlygyñ (ρ=const) hemişelikdigini göz öňünde tutup, differensial deñleme görnüşde şeýle ýazylýar

$$F_x dx+F_y dy+F_z dz=0 \qquad (2.10)$$

Gidrostatikanyň (2.10) belgili deňlemesiniň takyk amaly çözgüdi hökmünde aşakdaky mysallara ýüzleneliñ. Otnositel dynçlykda we agyrlyk güýjiniň täsirinde duran suwuklyk göwrümi üçin (2.2-nji surat) deň basyşly üstüň görnüşini kesgitläliň. Bu mysalda $F_x=0$, $F_y=0$, $F_z=g$. Onda deň basyşly üstüň deňlemesi

$$gdz=0 \qquad (2.11)$$

görnüşde ýazylar. Integrirlenen soň, deňleme

$$z=\frac{c}{g}=const \qquad (2.12)$$

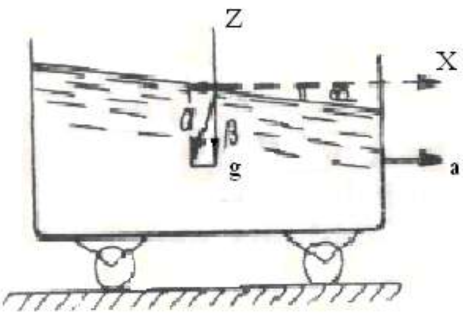
görnüşe geler. Bu deňleme, bilşimiz ýaly, wertikal (z) koordinaty hemişelik bolan tekizlikleriň (üstleriň) deňlemesidir. Diýmek otnositel dynçlykda duran suwuklyk göwrüminde islendik gorizontal tekizlik ýa-da üst deň basyşly üstdir. Onda 2.2-nji suratdaky mysalda XOY gorizontal tekizligne paralell geçirlen islendik tekizlik deñ basyşly üstdir.

Ýene-de bir mysal. Položitel ýa-da otrisatel tizlenme bilen hereket edýän gapdaky (awtomobil ýa-da demir ýol çelegi, 2.3-nji surat) suwuklygyň deň basyşly üstüniň görnüşini kesgitläliň. Bu ýerde $F_x=\pm a$; $F_y=0$; $F_z=g$. Onda, deň basyşly üstüň differensial deňlemesi

$$(\pm a)dx+(\pm g)dz=0 \tag{2.13}$$

görnüşde ýazylar we integrirlenenden soň

$$(\pm a)x+(\pm g)z=C=const \tag{2.14}$$



2.3-nji surat.

görnüşe geler. Bilişimiz ýaly, alynan deňleme eňňit ýa-da ýapgyt tekiz üstleriň deňlemesidir. Seredilen mysallarda ± - inersiýa güýjiniň tizlenmesi, ± - agyrlyk güýjiniň tizlenmesi, x, z - gabyň ýa-da suwuklyk göwrüminiň kese we dik ölçemeleri. Çyzgyda getirilen mysalda x=l, z=H 2.14 deñlemede ýerine goýup, integralyñ C hemişeligini kesgitläp bolar.

2.4 Gidrostatiki basyşyň görnüşleri we ölçeg birlikleri. Gidrostatiki napor

Napor rus sözünden alyndy. Napor suwuklyk ýa-da gaz göwrüminiñ içki doly basyşynyñ suwuklyk sütünine getirilen beýikligi türkmen dilinde ulanyp bilinjek dyñzab, bat, itgi ýaly sözler basyşyñ ýa-da içki dartgynlyk halyñ manysyny doly añlatmaýarlar.

Gidrostatiki basyşyň görnüşlerini we olaryň ululyklaryny deňeşdirmek üçin 2.3-nji suratda görkezilen tejribe mysalyna ýüzleneliň. Işçi doly däl asuda suwuklykly ýapyk gabyň h çuňlygynda ýerleşen A nokadynda gidrostatiki basyşy görmek we ölçemek üçin (V) we (P) wertikal aýnadan salan turbajyklardan peýdalanalyň. Bu ýerde (V) - trubajygyň ýokarky ujy ýapyk we içi absolýut boşluk (absolýut wakuum), (P) - trubkanyň ýokarky ujy açyk we oňa atmosferanyň (howanyň) P_a basyşy täsir edýär. Bu trubajyk pýezometrik turbajyk ýa-da pýezometr diýilip atlandyrylýar. A nokada doly gidrostatiki basyşyň ululygy

$$P_A=P_0+\rho gh \qquad (2.9)$$

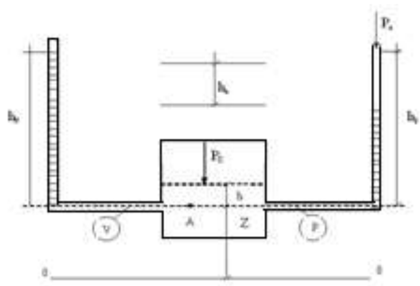
gidrostatikanyň esasy deňlemesi boýunça kesgitlenilýär we bu basyşyň täsiri (V) we (P) turbajyklarda suwuklyk degişli h_v we h_p beýikliklere galar. Onda, A nokatdaky gidrostatiki basyşyñ doly ululygyny aşakdaky deñlemeler arkaly hem kesgitläp bolar.

$$P_A=\rho gh_v \qquad (2.14)$$

hem-de

$$P_A=P_a+\rho gh_p. \qquad (2.15)$$

Diýmek, A nokatdaky gidrostatiki basyşyň ululygyny üç sany deňleme arkaly bilen kesgitläp we iki beýiklik bilen ölçäp bolar.



2.4-nji surat

Absolýut wakumly (V) turbajygyñ içindäki suwuklyk h_v sütüniniň agramy we beýikligi

$$h_v = \frac{P_a}{\rho g} = \frac{P_0}{\rho g} + h \qquad (2.16)$$

A nokatdaky doly absolýut gidrostatiki basyşyň ululygyny aňladýar. Pýezometrik turbajygyñ içindäki suwuklyk h_p sütüniniň agramy we beýikligi

$$h_p = \frac{(P_A - Pa)}{\rho g} = \frac{(P_0 - Pa)}{\rho g} + h \qquad (2.17)$$

A nokatdaky artykmaç (manometrik, agyrlyk) gidrostatiki basyşyň ululygyny aňladýar, h_v we h_p beýiklikleri deňeşdirenimizde, olaryň tapawudynyň hemişelik ululykdygyna we onuň ýerli atmosfera basyşynyň ululygyna gabat gelýän suwuklyk sütüniniň beýikligidigine göz ýetirýäris. Dogrudan hem

$$h_v - h_p \frac{P_a}{\rho g} = 10\,m$$

10 metr suw sütüni 760 mm simap sütünine deňdir. Şeýlelikde, şol bir nokatdaky gidrostatiki basyşyň iki hili gönünişi (aňladylyşy) bolýandyr: absolýut we artykmaç (pýezometrik) gidrostatiki basyşlar. Umumy görünişde bu basyşlar şeýle aňladylýarlar:

$$P_{abs}=P_{art}+P_a \qquad (2.18)$$

ýa-da

$$P_{art}=P_{abs}-P_a \qquad (2.19)$$

Onda ýokarda belleýşimiz ýaly,

$$P_a=P_{abs}-P_{art}. \qquad (2.20)$$

Gidrostatiki basyşyň ýene-de bir görünişi-<u>wakuumetrik basyşdyr</u>. Wakuumetrik basyş diýilip ululygy atmosferanyň basyşynyň ululygyna ýetmeýän basyşa aýdylýar, ýagny,

$$P_{vax}=P_a-P_{abs}=-P_{art} \qquad (2.21)$$

Diýmek, wakuumetrik basyş öz tebigaty boýunça otrisatel bellikli artykmaç basyş bilen gabat gelýär we ol diňe absolýut basyşyň ululygy atmosferanyň basyşyndan kiçi bolan ýagdaýda ýüze çykýar.

Eger-de gidrostatiki basyş suwuklyk sütünininiň beýikligi bilen aňladylanda, onuň ululygy erkin saýlanan 0-0 gorizontal tekizligine görä kesgitlense, onda bu wertikal beýiklige <u>gidrostatiki napor</u> (bat, itig, dyñzaw) diýilýär. (2.4-nji surata seret) Gidrostatiki naporyň fiziki manysy we düşündirilişi, gidrostatiki basyş bilen doly gabat gelýär. Ýokarda seredilen mysalymyzdan görnüşi ýaly, doly gidrostatiki naporyň ululygy

$$H=z+h_v \quad (2.22)$$

artykmaç ýa-da, pýezometrik naporyň ululygy

$$H_p=H-h_a=z+h_p \quad (2.23)$$

Diýmek, gidrostatiki basyşy napor görnüişinde aňlatmak üçin seredilýän mysal üçin hemişelik bolan, wertikal ž koordinaty ýa-da geometrik (geodeziki) beýikligi ulanmaly.

Meseleler we mysallar

10. Suw saklanýan ýapyk gaba birleşdirilen pýezometrdäki suw sütüniniň beýikligi h_p=3,8 m. Gapdaky suwa täsir edýän artykmaç üst basyşynyň (P_0) ululygyny kesgitlemeli. Pýezometr gaba h=2,0 m. çuňlukda birleşdirilipdir. (2.4-nji surat)

Suratda görkezilen deňagramlyk ýagdaýy üçin gapdaky suwa täsir edýän artykmaç üst basyşynyň (P_0) we pýezometrdäki suw sütüniniň döredýän artykmaç agyrlyk basyşynyň ($\rho g h_p$ deňlik şertini aşakdaky görnüişde aňladyp bolar:

$$P_0+\rho gh=\rho gh_p$$

bu ýerde:

ρ – suwuň normal şertlerindäki dykyzlygy, ρ= l000 kg/m□^{3};

g – agyrlyk güýjiniň tizlenmesi g = 9,8l m/s^2.

Onda $P_0=\rho g(h_p-h)$=l000 ·9,8 (3,8-2,0)=l7658 Pa;

Mysalyň jogaby: P_0=l7658; Pa=l7,658; KPa=0,0l7658; MPa=0,l7658 atm.

Bellik: Meseläni basyşyň absolýut ululyklarynda çözmek üçin açyk pýezometrdäki howanyň basyşynyň ululygyny göz öňünde tutmaly, ýagny:

$$\rho_0+\rho gh = Pa+\rho gh_p$$

Bu ýerde:

Pa – normal şertlerdäki howanyň (atmosferanyň) basyşy, Pa=l kgf/sm^2=10000 kgf/m^2 kgf/m^2=98100 Pa;

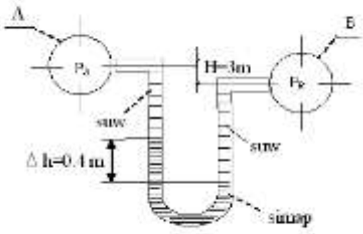
Onda $P_0=P_a+\rho g(h_p-h)=98100+1000\cdot 9{,}81\cdot 1{,}8=115758$ Pa.

Ýa-da P_0=0,115758 MPa=1,15758 Atm.

11. Çuňlygy H=4200m. bolan guýy buraw ergini bilen doldurylan. Ergniň göwrüm agyrlygy $\gamma_{b.e}$=1880 kgf/m^3. Guýynyň uzaboýundaky (urgy bölegi) basyşyň ululygyny kesgitlemeli.

Buraw ergini suw bilen çalşyrylanda basyş nähili üýtgär?

12. Beýikligi H=9,0 m bolan ýapyk wertikal nabit rezerwuarlarynyň ýokarky H_n=7,2 m, bölegi çig nabitden we aşakky galan bölegi suwdan ybarat. Rezerwuaryň düýbine täsir edýän doly gidrostatiki basyşyň ululygyny kesgitlemeli. Rezerwuardaky nebitiň doýan buglarynyň basyşy P_n=0,026 MPa.

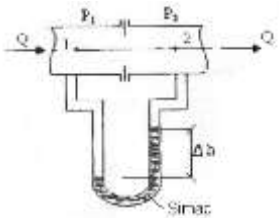


2.5.-nji surat.

13. A we B geçiriji turbalardaky suwuň statiki basyşyň tapawudyny ölçemek üçin simaply differensial manometri ulanylypdyr. 2.5-nji suratda görkezilen şertler üçin P_A we P_R basyşlaryň tapawudynyň ululygyny kesgitlemeli. Suwuň we simabyň

dykyzlyklary p_s=1000 kg/m^3 ρ_{si}=13600 kg/m^3, ululyklarda kabul etmeli. (2.5-nji surat).

14. 13-nji meseläniň suratyndaky şertlerde, B geçirijiturbadaky statiki basyşyň ululygyny P_B=0,65 MPa kabul edip, A geçiriji turbadaky P_A basyşyň ululygyny kesgitlemeli.

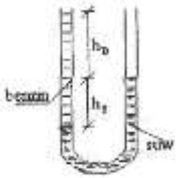


2.6-njy surat.

15. Gorizontal magistral gazgeçirijiniň geçirijilik ukybyny ölçemek üçin diafragma we ondaky statiki basyşyň tapawudyny ölçeýän 2.6.-nji suratda şekillendirlen simaply difmanometr ulanylypdyr. Ideal gazyň hereketi üçin, basyşlar P_1=5,5 MPa, P_2=5,25 MPa bolanda difmanometrdäki simabyň derejeleriniň Δh tapawudynyň ululyklaryny kesgitlemeli. Gazyň orta dykyzlygy ρ=4,2 kg/m^3.

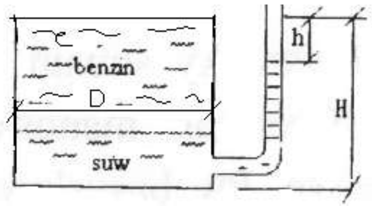
16. 15-nji meseläniň şertlerinde P_1=5,5 MPa, difmanometriň suwuklygy gliserine (ρ=2500 kg/m^3) çalşyrylanda we beýiklik Δh=0,8m bolanda P_2 basyşyň ululygyny kesgitlemeli.

17. U - şekilli aýnadan ýasalan turbajyga (2.7-nji surat) suw we benzin guýulypdyr. Normal şertlerde turbadaky suwuň beýikligi h_s=600 mm, benziniň beýikligi h_b=400 mm. Benziniň göwrüm agyrlygyny we dykyzlygyny kesgitlemeli. Suwuñ dykyzlygy ρ_s=1000 kg/m^3



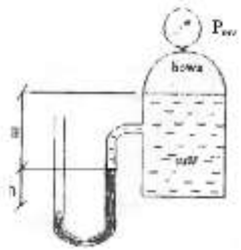
2.7-nji surat.

18. Diametri D=2,0 m wertikal silindr gaba H=l,5m derejä çenli suw we benzin guýulypdyr. Pýezometrdäki suwuň beýikligi gapdaky benziniň derejesinden h=300 mm ululyk pes (2.8-nji surat). Gapdaky benziniň agramyny we göwrümini kesgitlemeli. Suwuň we benziniň agram dykyzlyklary degişlilikde p_s =1000 kg/m^3; ρ_b=700 kg/m^3.



2.8-nji surat.

19. Suw bilen doly doldyrylmadyk gabyň ýokary bölegindäki howanyň basyşyny ölçeýän manowakumetriň görkezýän ululygyny kesgitlemeli. Gabyň gapdal üstüne birleşdirilen simap basyş ölçeýjisiniň degişli görkezijileri H=1,0 m, h=368 mm. (2.9-njy surat) Atmosferanyň (howanyň) basyşy Pa=740 mm. simap sütüni, simabyň dykyzlygy p_{si} =13600 kg/m^3.

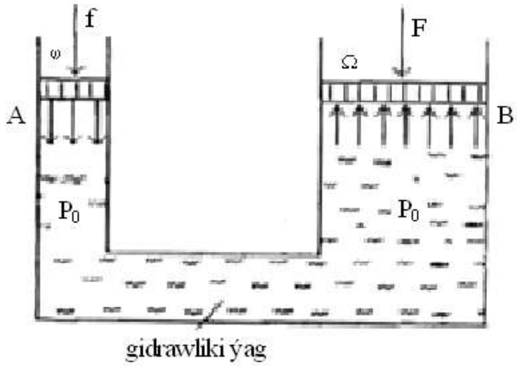


2.9-njy surat.

2.5 Paskalyň kanunynyñ tehnikada ulanylşynyñ mysallary

Suwuklyklaryň daşky basyşy geçirijiligi praktikada we tehnikada giňden ulanylýar. Paskalyň kanuny ýönekeý gidrostatiki maşynlaryň gurulyşynda, basyş üýtgedijileriň hem-de dürli görnüşli hereketi geçirijileriň, hereketlendirijileriň we dolandyryjylaryň işleýiş prinsiplerinde öz ornuny tapdy.

Ýönekeý gidrostatiki maşynyň gurlyş shemasyna we işleýiş prinsipine gidrawiiki pressiň mysalynda seredeliň. 2.10-njy suratdan görnüşi ýaly, gidrawliki press silindr şekilli iki sany galtaşýan A we B dik gaplardan ybaratdyr. Gaplar ýörite gidrawliki (industrial) ýagyndan doldurylýar.



2.10-njy surat

Gaplardaky suwuklygyň üst tekizliginde meýdanlary ω we Ω ululykly porşenler ýerleşdirilendir. Eger-de kiçi A porşene f ululykly güýç bilen täsir edilse, onda suwuklygyň islendik nokadynda ululygy $P_0=f/\omega$ ululykly basyş dörär. Bu basyş uly B porşende $F=P_0{\cdot}\Omega$ ululykly güýji döreder. Şeýlelikde, pressde dörän gidrostatiki P_0 basyş hem-de güýçler f we F üçin, olaryň deňagramlygyny suratlandyrýan, gatnaşyk ýazyp bolar:

$$\frac{f}{\omega} = \frac{F}{\Omega} \tag{2.24}$$

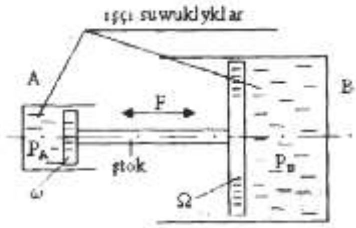
ýa-da

$$F = \left(\frac{\Omega}{\omega}\right) \tag{2.25}$$

2.25 aňlatmadan görnüşi ýaly, f–ululykly kiçi güýjiň kömegi bilen, has uly F güýji (agramy) deňagramlaşdyryp bolar. 2.24 gatnaşyga başga hili seredilende güýçleriň gatnaşygy meýdanlaryň gatnaşygyna deňligi belli bolar.

$$\frac{F}{f} = \frac{\Omega}{\omega} \tag{2.26}$$

Beýle diýildigi porşenleriň meýdanlary biri-birinden naçe esse uly bolsa, presde döreýän güýçler hem biri birinden şonça esse tapawutlanar. Häzirki zarnan senagat presslerinde işçi Pa basyş nasoslaryň kömegi bilen 5-20 MPa çäklerde döredilýär, hem-de işçi F güýjiñ ululygy müñlerçe tonna bolup biler.



2.11-nji surat

Tehnikada bir bitewi gidrawliki ulgamda basyşy dürli ululykly işçi suwuklyklar ulanyp bilinerler. Bu zeýilli gidrawliki enjamlara basyş üýtgedijiler ýa-da basyş reduktorlary diýilýär. 2.11-

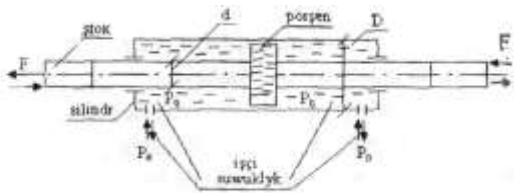
nji suratda bir basganҫakly gidrawliki basyş reduktorynyñ shemasy we işleýiş prinsipi şekillendirilen. Bu enjam silindr şekilli ýörite suwuklykly A we B gaplardan, ω we Ω meýdanly hemişelik özara birleşdirilen porşenlerden ybaratdyr. Ulgamyň deňagramlygyny $P_A\omega=P_B\Omega$ (2.26) deňlemäniň kömegi bilen, P_A we P_B basyşlaryň döredýän F güýjiniň A we B gaplar (porşenler) üçin deňliginden suratlandyryp bolar. Enjamda işçi basyş hökmünde P_B ululykly kiçi basyş ulanylanda porşenler çepden saga hereket ederler,

ýagny: $$P_B=P_A(\omega/\Omega) \qquad (2.27)$$

Onda A gapdaky P_A ululykly uly basyş P_B ululyga çenli ω/Ω - esse kiçeldiler. Eger-de enjam basyş ulaldyjy hökmünde ulanylsa, onda tersine P_B ululykly başky basyş, porşenleriň sagdan çepe hereketi netijesinde Ω/ω - esse ulalar, ýa-da

$$P_A = P_B\left(\frac{\Omega}{\omega}\right) \qquad (2.28)$$

Gidrawliki hereket geçiriji, hereketlendiriji hem-de dolandyryjy ulgamlarda esasy iş guraly hökmünde güýç gidrosilindrleri ulanylýarlar. Bu gidrawliki gural içki suwuklykda döreýän P_0 basyşy garşylykly ugurlara yzygiderli gezegine täsir edýän F ululykly itiji – çekiji güýje öwürýän ýerine ýetiriji guraldyr. Güýç gidrosilindriniň gurluş shemasy we işleýiş prinsipi 2.12-nji suratda görkezilen.



2.12-nji surat

Gidrosilindriň çep işçi göwrümine P_0 basyşly suwuklyk akdyrylanda, porşen - ştok ulgamynda döreýän itiji - çekiji F güýjiň ululygy aşakdaky ululyga

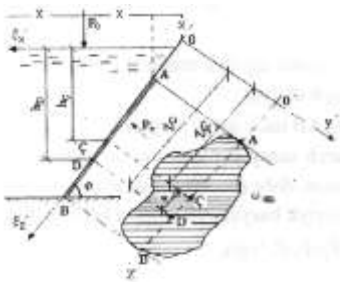
$$F = P_0 \pi \frac{(D^2 - d^2)}{4} \tag{3.12}$$

deň bolar. Bu iş pursadynda, gidrosilindriň sag işçi göwrümindäki suwuklyk daşky ýapyk aýlaw kontura akdyrylar we porşen - ştok ulgamy çepden saga hereket eder.

Gidrohereketlendirijiler ulgamlarynyň niýetlenilşine we görnüşlerine laýyklykda gidrosilindrleriň dürli görnüşleri we enjamlaşdyryş shemalary bolup biler. Köp basgançakly we köp funksional bütewi ýerine ýetiriji gidrosilindrler ulgamyna gidromultiplikatorlar diýilýär. Gidromultiplikatorlar maşynlaryň we tilsimat prosessleriniň dolandyryjy we yzarlaýjy gidrawliki ulgamlarynda esasy ýerine ýetiriji işçi gurallardyr.

2.6. Suwuklyklaryň tekiz üstlere basyşy

Dürli statiki deňagramlyk hallarda, islendik suwuklyk göwrümini çäklendirýän üstlerde ýüze çykýan basyş güýçleriniň ululyklaryny hem-de şol güýçleriň basyş merkezlerini kesgitlemeklik gidrostatikanyň esasy amaly meseleleriniň biri bolup durýar.



2.13-nji surat

Ýapgytlygy φ burçy bilen ($0°<\varphi<90°$) ölçenýän, tekizlikde ýerleşýän, şekili erkin görnüşli, merkezi OZ simmetriýa okynyň ugruna A we B nokatlar bilen çäklenen meýdany ω deň bolan tekiz üste täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygyny kesgitläliň. Seredilýän tekiz üsti otnositel deň agramlyk halyndaky suwuklyk saklanýan gabyň gapdal üstiniň bir bölegi hökmünde kabul edip bolar. Suwuklyga P_0 ululykly daşky üst basyşy täsir edýändir. AB üstiň daş tarapyndaky gurşawyň basyşy P_e deň.

AB üste täsir edýän daşky P_0 we P_e basyşlar özara deň däldirler hem-de atmosferanyň basyşyndan tapawutly basyşlardyr. Üstüň doly geometrik şekilini, çyzuw tekizligini 90° OZ' dik okunyň töwereginde aýlap görüp bolar. Koordinatlar ulgamynyň başlangyjy O nokat suwuklygyň üst tekizligi bilen AB üstiň dik simmetriýa okunyň kesişýän nokady bilen gabat gelýär. Ç nokat AB üstiň agyrlyk merkezidir.

Seredilýän mysalda koordinatalar oky aşakdaky tertipde kabul edilen:

OX' oky suwuklygyň üst gorizontal tekizliginde ýerleşýär; OY' oky suwuklygyň üst tekizligi bilen AB üstiň dowamynyň kesişýän çyzygy bilen gabat gelýär; OZ' oky aşaklygyna ugrukdyrylan we AB üstiň merkezi dik simmetriýa oky bilen gabat gelýär.

Umumy ýagdaýda AB tekiz üste täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň jemleýji ululugy aşakdaky aňlatma boýunça kesgitlenip biliner.

$$P=P_ç\omega \qquad (2.30)$$

bu ýerde:

$P_ç$ - AB tekiz üstüň agyrlyk merkezi ç nokada täsir edýän doly absolýut gidrostatiki basyşyň ululygy;

ω - seredilýän AB tekiz üstüň meýdany.

Gidrostatikanyň esasy deňlemesine laýyklykda suwuklyk göwrüminiň islendik nokadynda doly absolýut gidrostatiki basyşyň ululugy daşky we içki artykmaç agyrlyk basyşlaryň jemleri hökmünde kesgitlenilýär. Diýmek

$$P_ç=P_0-P_e+\rho gh_ç \qquad (2.31)$$

bu ýerde:

P_0 - suwuklygyň üst tekizligine täsir edýän we Paskalyň kanuny esasynda onuň islendik nokadyna doly ululykda geçýän daşky üst basyşy;

P_e - AB tekiz üstüň daş tarapyndaky daşky gurşawyñ döredýän basyşy;

ρ - suwuklygyň dykyzlygy;

g - agyrlyk güýjüniň tizlenmesi;

$h_ç$ - AB tekiz üstüň agyrlyk merkeziniň çuňlugy;

Onda (2.30) aňlatmada (2.31)-den $P_ç$ basyşyñ ululygyny ýerine goýup aşakdaky görnüşinde ýazyp bolar.

$$P=(P_0-P_e+\rho gh_ç)\omega \qquad (2.32)$$

Şeýlelikde (2.32)-den gelip çykyşy ýaly, tekiz üstlere täsir edýän gidrostatiki basyş güýjüniň ululygy üstüň agyrlyk merkezine täsir edýän daşky basyşlaryň tapawudy bilen şol nokatda täsir edýän artykmaç agyrlyk gidrostatiki basyşyň jeminiň üstüň meýdanyna köpeltmek hasylyna deňdir.

(2.32) aňlatmany äşakdaky görnüşinde ýazyp bolar:

$$P=(P_0-P_e)\omega+\rho gh_ç\omega \qquad (2.33)$$

ýa-da

$$(P_0-P_e)\omega=P_0 \qquad (2.34)$$

$$\rho g\, h_ç\cdot\omega=P_s \qquad (2.35)$$

Soňky aňlatmalarda P_0 seredilýän üste täsir edýän daşky basyş güýji we P_s – üste täsir edýän artykmaç ýa-da agyrlyk gidrostatiki basyş güýji. Diýmek, umumy ýagdaýda islendik tekiz üste gidrostatiki basyş güýçleriniň iki görnüşi - daşky we agyrlyk gidrostatiki basyş güýçleri täsir edýändir.

Eger-de $P_e=P_{atm}$ bolsa, ýagny seredilýän üstüň daş tarapynda artykmaç basyş bolmasa, onda:

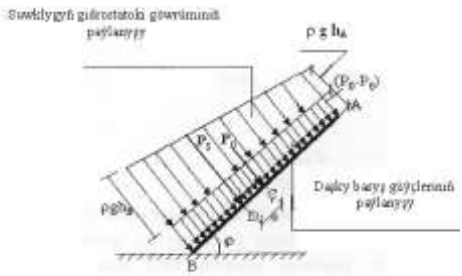
$$P_0=P_0\cdot\omega \quad (2.36)$$

Eger-de $P_0-P_e=P_{atm}$ bolanda, ýagny üstüň iki tarapynda-da artykmaç basyş bolmasa onda

$$P=P_s=\rho g h_ç\cdot\omega \quad (2.37)$$

Ýa-da üste täsir edýän gidrostatiki basyş güýji diňe suwuklygyň degişli göwrüminiň ($V_{bg}=h_ç\cdot\omega$) agyrlyk basyş güýji bilen çäklener. $V_{bg}=h_ç\cdot\omega$ ululyk basyş göwrümi diýilip atlandyrylýar. Diýmek basyş göwrümi seredilýän tekiz üst bilen suwuklygyň üst tekizligi bilen çäklenen basyş güýjüni döredýän suwuklyk göwrümine aýdylýar.

Tekiz üstlere täsir edýän gidrostatiki basyş güýjüniň jemleýji ululygynyň düzümini statiki nukdaý-nazardan 2.14-nji suratda görkezilen basyş güýçlerniñ paýlanşynyñ mysalynda seljerip bolar. Ýokarda bellenilşi ýaly daşky basyş güýçleriniň üste deň ululykda paýlanýar we bu güýçleriň deň täsiredijisi P_0 üstiň agyrlyk merkezinde (Ç nokatda) ýerleşýär.



2.14-nji surat

Suwuklygyň basyş göwrüminiň döredýän artykmaç agyrlyk güýji üste deň ululykda paýlanmaýar. Bu güýjüň agramy çuňluk ulaldygyça ulalar. Suwuklygyň agyrlyk güýjiniň deň täsir edijisi basyş merkezinde (D nokatda) ýerleşýär. 2.14-nji suratdaky basyş güýçleriniň paýlanyş şekiline gidrostatiki basyşyň epýury diýilýär.

Umumy ýagdaýda üstüň basyş merkeziniň onuň agyrlyk merkezine görä ýerleşýän l – aralygy aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

$$l = \frac{I_0}{S_{ox'}} = \frac{I_0}{z_c \cdot \omega} \qquad (2.38)$$

Bu aňlatmada:

l - üstüň agyrlyk we basyş merkezleriniň aralygy;

I_0- seredilýän üstüň öz merkezi simmetriýa okuna görä inersiýa pursady;

$S_{ox'}$-üstüň ox gorizontal koordinatalar okuna görä statiki pursady;

$z_ç$ - üstüň agyrlyk merkeziniň dik koordinaty.

(2.38) aňlatmadaky l aralyga basyş merkeziň eksentrisiteti diýilýär. Bu ululyk üstüň <φ - ýapgytlyk burçynyň ululygyna baglylykda üýtgeýän ululykdyr. <φ=0 (gorizontal tekiz üstler) l=0 bolar ýa-da üstüň agyrlyk we basyş merkezleri gabat gelerler. <φ ulaldygyça basyş güýjüniň eksentrisiteti ulalar. <φ=90^0 (dik tekiz üstler) bolanda *l* maksimal ululyga deň bolar. Bu ýagdaýda üstüň basyş merkeziniň çuňlugyny (h_D) aşakdaky görnüşde kesgitläp bolar:

$$h_d = h_c + l_{\max} = \frac{I_0}{h_c \cdot \omega} \qquad (2.39)$$

bu ýerde:

$h_ç$ – üstüň agyrlyk merkeziniň çuňlygy;

l_{max} – dik tekiz üst üçin basyş merkeziň maksimal eksentrisiteti.

2.7 Basyş göwrüminiň we merkeziniň grafo-analitiki usuly bilen kesgitlenilşi

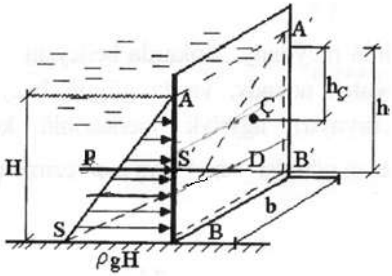
Ýokarda bellenilişi ýaly üstlere täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy getirilen basyş göwrüminiň agramy bilen kesgitlenýär. Diýmek, islendik tekiz üste täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy

$$P=\rho g V_{bg} \tag{2.40}$$

aňlatma boýunça kesgitläp bolar.

Bu ýerde, V_{bg} - basyş göwrümi. Basyş göwrüminiň geometrik şekili seredilýän üstüň şekiline we gidrostatikanyň esasy kanunlaryna laýyklykda gurulýar. Basyş göwrümi umumy ýagdaýda üste täsir edýän gidrostatiki basyşyň epýury bilen çäklenen giňişlik geometriki şekilidir. Öz gezeginde gidrostatiki basyşyň epýury diýlip, üstüň ýerleşen çuňlugyna görä, oňa täsir edýän basyşyň üýtgeme grafiki şekiline aýdylýar.

Gidrostatiki basyş güýjiniň üste täsir edýän nokady ýa-da basyş merkezi, basyş göwrüminiň (basyş epýurynyň) agyrlyk merkezi bilen gabat gelýär. Basyş göwrüminiň we merkeziniň grafo-analitik usuly bilen kesgitlenilşini takyk mysalda seredeliň (2.15-nji surat) şekillendirilişi ýaly, ABB'A' göniburçly tekiz suw saklaýan şite (diwara) täsir edýän gidostatiki basyş güýjiniň ululygyny we onuň täsir edýän nokadynyň koordinatyny kesgitläliň. Şitiň öňündäki suwuň çuňlugy H, şitiň ini b bolsun.



2.15-nji surat

Seredilýän mysalda, şite artykmaç güýç hökmünde diňe gidrostatiki basyş güýji, ýa-da şitiň öňündäki suwuň döredýän agyrlyk basyş güýji täsir edýär (şitiň öz hususy agramy hasaba alynmaýar). Onda, şite täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň epýury (basyşyñ paýlanyşy) p=ρgh ýönekeý deňleme bilen kesgitleniler we gurular. Bu deňlemede h şitiň beýikligini häsiýetlendirýän nokatlaryň çuňluklary. Şitiň minimal çuňlygy A nokat bilen berlen. Bu nokat üçin h=0; onda P_A=0, ýa-da suwuň üst tekizligi bilen şitiň kesişýän nokatlarynda gidrostatiki basyşyň ululygy 0 deňdir.

Şitiň maksimal çuňlugy B nokat üçin h=H we gidrostatiki basyşyň ululygy P_b=ρgH bolar, ýa-da şitiň aşaky gorizontal esasynyň islendik nokadynda gidrostatiki basyşyň ululygy hemişelikdir we pgH deňdir.

Şitiň A we B nokatlary üçin gidrostatiki basyşyň kesgitlenen ululyklaryny Gidrostatikanyň 1-nji kanunyna laýyklykda (gidrostatiki basyş üste içki normal boýunça ugrukdyrylandyr) wektor ululyklar hökmünde ölçäp goýýarys. Suratda emele gelen ∆ABS (göniburçly üçburçlyk) seredilýän şit üçin gidrostatiki basyşyň epýurydyr.

Alynan ∆ABS epýur şitiň b ini boýunça dowam edilende, ABSS'B'A' üçburçly prizmanyň şekili alynar. Bu şekil gözlenýän gorizontal basyş göwrümidir. Diýmek ABB'A' şite täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy:

$$P = \rho g V_{b.g.} = \rho g V_{ABSS'B'A'} = \frac{1}{2}\rho g H \cdot bH \qquad (2.41)$$

ýa-da

$$P = \rho g h_c \cdot \omega \qquad (2.42)$$

Soňky aňlatmada $h_c = \frac{H}{2}$ - şitiň agyrlyk merkeziniň ω=bH–şitiň öllenýän üstüniň meýdany. Ýokarda belleýşimiz ýaly, üste täsir edýän basyş güýjiniň täsir edýän nokady ýa-da güýjiň basyş merkezi D, basyş göwrüminiň (epýurynyň) agyrlyk merkeziniň koordinaty hökmünde kesgitlenilýär. Suratdan görnüşi ýaly, basyş merkeziniň çuňlygy

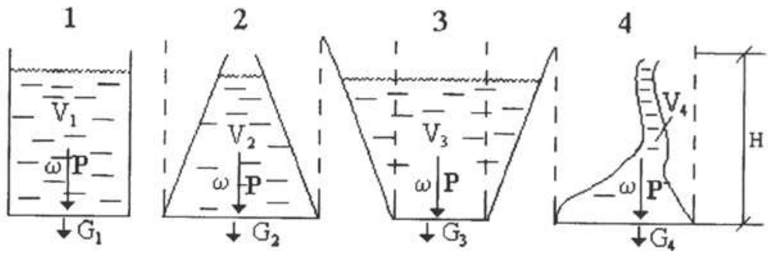
$$h_D = \frac{2}{3}H \qquad (2.43)$$ deňdir.

2.8 Gidrostatiki paradoks hadysasy

Dürli geometrik şekilli gaplarda saklanýan suwuklyklaryň hususy G_i agramlary bilen gaplaryň düýbine täsir edýän gidrostatiki basyş P güýçleriniň (dik basyş göwrüminiň agramy) deňsizligine gidrostatiki paradoks ýa-da gidrostatiki çaprazlyk hadysasy diýilýär. Bu hadysany düşündirmek üçin aşakdaky mysallara ýüzleneliň (2.16-njy surat). Bu mysallarda geometrik şekiller boýunça tapawutly 4 sany suwuklyk saklanýan gaplaryň gidrostatiki häsiýetnamalary deňeşdirilýär. Gaplaryň beýiklikleri (H) düýbiniň meýdanlary (ω) we olarda saklanýan suwuklyklar ρ dykyzlygy boýunça birmeňzeşdirler.

2.1-nji tablisa

Gaplardaky suwuklygyň agramy. G, N, kgg, tg	$G_1=\rho gV_1$	$G_2=\rho gV_2$	$G_3=\rho gV_3$	$G_4=\rho gV_4$
Gaplaryň düýbine täsir edýän gidrostatiki basyş güýji **P**, kg	$P=\rho gH\omega$	$P=\rho gH\omega$	$P=\rho gH\omega$	$P=\rho gH\omega$
Suwuklygyň agramynyň, gidrostatiki basyş güýjiniň gaplardaky suwuklygyň hakyky göwrümleriniň we gidrostatiki basyş göwrümleriniň deňeşdirme görkezijileri	$G_1=P$ $V_1=H\cdot\omega$	$G_2<P$ $V_2<H\cdot\omega$	$G_3>P$ $V_3>H\cdot\omega$	$G_4<P$ $V_4<H\cdot\omega$



2.16-njy surat.

Görnüşi ýaly, gaplaryň diňe birinjisinde (prizma ýa-da silindr şekilli dik gap) deňeşdirilýän ululyklar özara deňdirler. Sebäbi, bu gapdaky saklanýan suwuklygyň hut öz göwrümi we gabyň düýbine täsir edýän gidrostatiki basyş göwrümi şol bir ululyklardyr, ýagny $V_1=H\cdot\omega$. Şonuň üçin gapdaky suwuklygyň agramy (G_1) we basyş göwrüminiň döredýän agyrlyk güýji (P) özara deňdirler.

Seredilýän mysaldaky 2, 3 we 4 gaplarda suwuklygyň hakyky V_2, V_3 we V_4 göwrümleri we olarda döreýän dik basyş göwrümleri dürli ululykly göwrümlerdir. Şonuň üçin, bu göwrümleriň agramlary we döredýän basyş güýçleri hem dürli ululykdadyr. 2 we 4 gaplaryň düýbine täsir edýän P ululykly gidrostatiki basyş güýjiniň, olardaky suwuklygyň agramyndan artýan bölegi gaplaryň gapdal diwarlarynyň döredýän dik aşak ugrukdyrylan reaktiw (gaýtargy) güýçleriniň goşandydyr. 3 gapdaky ýüze çykýan hadysa, ýagny, suwuklygyň G_3 hususy agramynyň gabyň düýbine täsir edýän P gidrostatiki basyş güýjinden artýan bölegi (G_3>**P**) dik ýokary ugrukdyrylan gapdal diwarlaryň kabul edýän goşmaça agyrlyk güýjidir.

Gidrostatiki paradoks hadysasy suwuklyklaryň hususy agramy we olaryň döredýän gidrostatiki basyş güýjiniň dürli ululyklardygyny ýa-da dürli suwuklyk göwrüminiň deň ululykly basyş güýjini döredýän mysallaryny düşündirýän hadysadyr.

Meseleler we mysallar

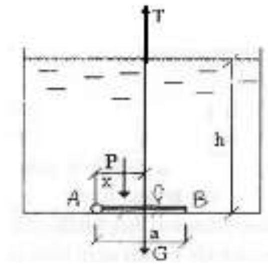
20. Suw bilen doldurylan açyk rezerwuaryň düýbindäki gönüburçlyk şekilli deşik ölçemeleri axb=0,5x0,6m bolan tekiz gorizontal klapan bilen ýapylypdyr. Klapanyň agramy G_K=12 kgg. Rezerwuardaky suwuň çuňlygy h=2m. Klapan şarnirli A okuň töwereginde aýlanýar (2.17-nji surat).

Kesgitlemeli:

1) klapan täsir edýän P basyş güýjiniň ululygyny;

2) klapany açmak üçin ulanylýan tros A şarnirden näçe x aralykda daňylanda, onuň T çekiş güýji minimal bolar?

3) tros x=0,25m aralykda daňylanda onuň T çekiş güýji näçe bolar?



2.17-nji surat.

Meseläniň çözülişi.

I. Klapana täsir edýän **P** basyş güýjiniň ululygy aşakdaky aňlatma boýunça kesgitlenip biliner:

$\mathbf{P}=\rho gh\cdot\omega+G_k\cdot g$

bu ýerde: ρ - suwuň dykyzlygy,
$\rho=1000\ kg/m^3$;

ω - klapanyň meýdany, $\omega=axb$.
Onda

$$\boldsymbol{P}=\rho gh\cdot a\cdot b+G_k g;$$

$$\mathbf{P}=1000\cdot 9{,}81\cdot 2\cdot 0{,}5\cdot 0{,}6+12\cdot 9{,}81;$$

$$\mathbf{P}=6004\ N=612\ kgg.$$

P güýjiniň klapana täsir edýän nokady onuň agyrlyk merkezi bilen gabat gelýär, sebäbi klapan tekiz gorizantal üstdir.

2. Klapanyň statiki deňagramlygy oňa täsir edýän iki güýjiň, ýagny **P** ululykly basyş güýjiniň we T ululykly trosyň çekiş güýjiniň A şarnire görä döredýän güýç pursatlarynyñ deňligi bilen kesgitlenilýär. Bu şerti kanagatlandyrýan güýçleriň pursatlarnyñ deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$P\frac{a}{2}=T\cdot x$$

2.17-nji suratdan görnüşi ýaly, T çekiş güýjiniň minimal ululygy x aralyk maksimal bolanda, ýa-da x=a=0,5m bolar. Onda

$$T_{\min}=P\frac{a}{2x}=P\frac{a}{2a}=\frac{P}{2};\qquad T_{\min}\frac{6004}{2}=3002N=306kgg.$$

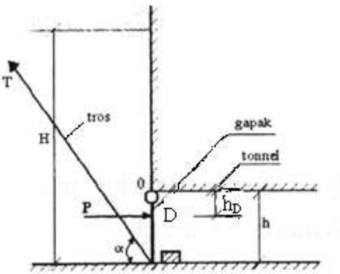
2. Tros klapana x=0,25 m aralykda daňylanda, onuň çekiş güýji ýokarda seredilen güýç pursatlaryñ deňlemesine

laýyklykda aşakdaky görnüşde kesgitleniler:

$$P = \frac{a}{2} = T \cdot 0{,}25; \qquad T = P\frac{a}{2 \cdot 0{,}25\chi} = P\frac{0{,}5}{0{,}5} = P$$

Diýmek, bu ýagdaýda klapanyň basyş güýji bilen trosyň çekiş güýjiniň täsir edýän nokatlary gabat gelýärler.

21. Suw bendiniň akdyryjy tonneli göniburçlyk gapak bilen ýapylan. Gapak 0 şarniriň töwereginde aýlanýar. Tonneliň beýikligi h=1m, ini b=2m. Tonneliň gapagyny açmak üçin onuň aşakky ujyna α=45° burç bilen tros daňylan. (2.18-nji surat) Bendiň beýikligi H=4m. Gapagy açmak üçin trosy näçe ululykly T çekiş güýji bilen çekmeli?



2.18-nji surat.

Meseläniň çözülişi: Berlen deňagramlyk ýagdaýynda 0 şarnire görä gapaga täsir edýän güýç pursatlarnyñ deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\boldsymbol{P} \cdot h_D - T \cdot h\cos\alpha = 0.$$

Onda, kesgitlenilmeli: T çekiş güýji: D h_D

$$T = \frac{P \cdot h_D}{h \cdot \cos\alpha} = \frac{P \cdot h_D}{h \cdot \cos 45^o}$$

bu ýerde:

P – gapaga bendiň öňündäki suw tarapyndan täsir edýän basyş güýji;

h_D – basyş güýjiň 0 şarnire görä egni.

Gapaga täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniñ ululygy we onuñ basyş merkezi aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär.

$$P = \rho g\left(H - \frac{h}{2}\right)b \cdot h = 1000 \cdot 9{,}81\left(4 - \frac{1}{2}\right)2 \cdot 1 = 68670N$$

$$h_D = \frac{h}{2} + \frac{I_0}{S}$$

bu ýerde:

I_0 – gapagyň geometrik şekiliniň öz hususy simmetriýa okuna görä inersiýa pursady

$$I_o = \frac{bh^3}{12} = \frac{2 \cdot 1^3}{12} = 0{,}167m^4$$

S – gapagyň geometrik şekiliniň suwuň üst tekizliginden geçýän gorizontal okuna görä statiki pursady:

$$S = b \cdot h\left(H - \frac{h}{2}\right) = 2 \cdot 1\left(4 - \frac{1}{2}\right) = 7m^3$$

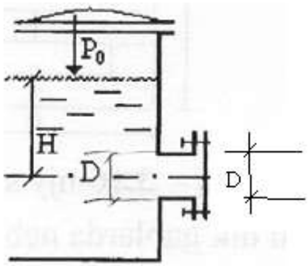
Onda

$$h_D = \frac{1}{2} + \frac{0{,}167}{7} = 0{,}524m$$

Şeýlelikde, gapagy açmak üçin trosda döredilmeli T çekiş güýjiniň ululygy:

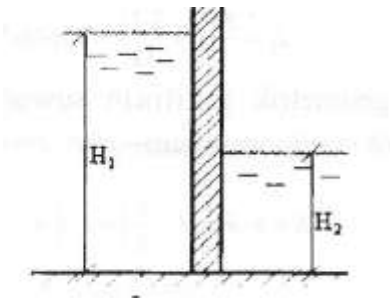
$$T = \frac{68670 \cdot 0{,}524 \cdot 2}{1 \cdot \sqrt{2}} = 50860N = 5184{,}5kgg$$

22. Dik nebit rezerwuarynyň girip-çykylýan lýugy tekiz gapak bilen ýapylan. Gapagy saklaýan boltlara täsir edýän güýjiň ululygyny kesgitlemel? Rezerwuardaky nebitiň udel agramy γ=0,92 kgg/dm^3; beýikligi H=3,8 m, üst basyşy P_0=0,31 atm Lýugyň diametri D=850 mm.(2.19-njy surat)



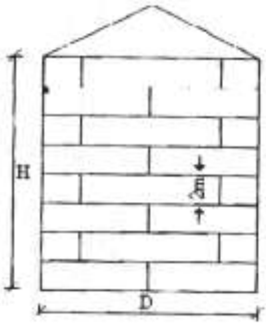
2.19-nji surat

23. Dik tekiz diwar emeli suw howdanyny iki bölege bölýär. (2.20-nji surat) Suwuň çuňluk derejeleri H_1=4,0 m we H_2=1,4 m. Diwaryň ini b=3m. Diwara täsir edýän basyş güýçlerini we olaryň döredýän agdaryjy güýç pursatlarynyñ ululyklaryryny kesgitlemeli?



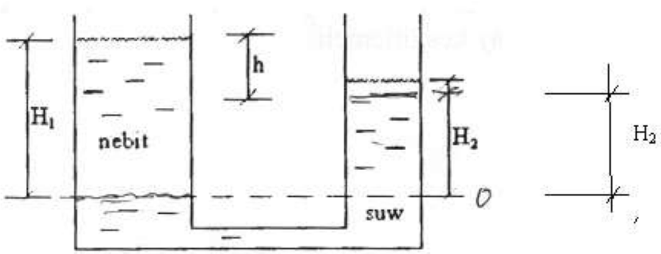
2.20-nji surat.

24. Polat nebit rezerwuary dikligine 8 sany deň böleklerden ybarat bolan prokat listlerinden ýasalypdyr. Rezerwuaryň beýikligi H=16 m, diametri D=l0 m. (2.20-nji surat) Listleriň ini 2 m, süýnmeklige çydamlygy $G=1\cdot10^5$ P_a. Nebitiň dykyzlygy ρ=910kg/m^3, ýüzýän gapagyň agramy G=70KN. Nebitiň içki basyş güýjiniň listlere paýlanyşyny we olaryň galyňlygyny kesgitlemeli.



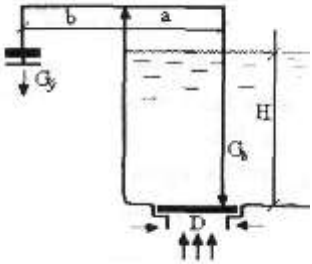
2.21-nji surat

25. Iki açyk galtaşýan dik gaplarda nebit (dykyzlygy ρ_n=810 kg/m^3) we ondan aýrylan suw (dykyzlygy ρ_S=1000 kg/m^3 saklanýar. Suwuklyklaryň beýiklik derejeleriniň tapawudy h=660 mm bolanda (2.22-nji surat) olaryň deň basyşly bölüji gorizontal 0-0 tekizlige görä H_1 we H_2 beýikliklerini kesgitlemeli.



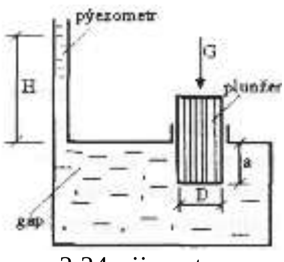
2.22-nji surat

26. Açyk rezerwuarynyň suw girelgesi (diametri D=l50mm) ölçemeleri a=200mm we b=540mm bolan ýükli klapan bilen ýapylan (2.23-nji surat). Rezerwuardaky suwuň H=3,0m-den kiçi bolmadyk beýiklik derejesini üpjün edýän ýüküň $G_ý$ agramyny kesgitlemeli. Klapanyň öz agramy G_K=l96,2 N.



2.23-nji surat.

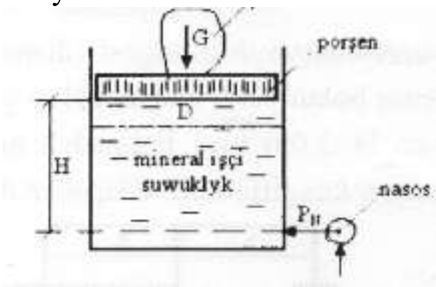
27. Gaba birleşdirilen pýezometrdäki mineral ýagyň (dykyzlygy ρ=840 kg/m^3) derejesini H=3,0 m. beýiklige galdyrmak üçin diametri D=200 mm, çümen böleginiň çuňlugy a=400 mm bolan plunžeriň G agramy näçe bolmaly? (2.24-nji surat).



2.24-nji surat.

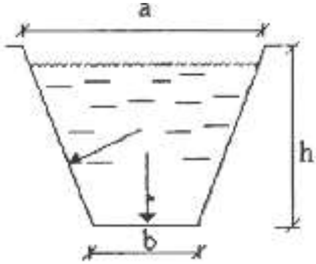
28. Agramy G=800 KN ýüki H=l,8m beýiklige galdyrýan gidrawliki galdyryjyny (2.25-nji surat) hereketlendirýän nasosyň işçi basyşynyň ululygy näçe bolmaly? Gidrawliki galdyryjynyň porşeniniň diametri D=600 mm, işçi suwuklygyň dykyzlygy ρ=920 kg/m^3. Porşeniň hususy agramy we ulgamda döreýän sürtülme

güýçleri hasaba alynmaly däl.



2.25-nji surat

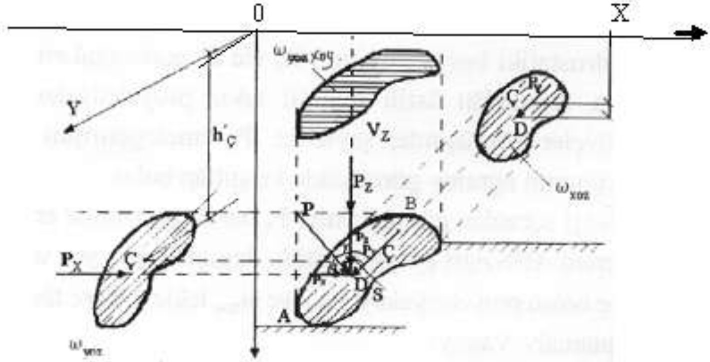
29. Esaslary kwadrat kesik piramida şekilli açyk gap (2.26-njy surat) glisirinden dolduryylan. Piramidanyň ölçemeleri a=2,0 m, b=1,2 m, h=3,0 m. Glisiriniň dykyzlygy ρ=1200 kg/ m^3 Piramidanyň esasyna we onuň gapdal üstlerine täsir edýän basyş güýçleriniň ululygyny kesgitlemeli?



2.26-njy surat.

2.9 Suwuklyklaryň egri çyzykly üstlere basyşy

Egri çyzykly üstleriň islendik nokadyna täsir edýän gidrastatiki basyş we onuň döredýän basyş güýçleri, umumy ýagdaýda, özara parallel däldirler ýa-da dürli tekizliklerde ýerleşen güýçlerdir. Diýmek, bu güýçleri ýa-da olaryň deňtäsiredijisiniň ululygyny hem-de onuň üste täsir edýän nokadyny kesgitlemeklik, goýulan meseläniň baş maksadydyr.



2.27-nji surat

Erkin görnüşli ABS egri çyzykly üste (2.27-nji surat) suwuklyk tarapyndan täsir edýän gidrostatiki basyş güýçleriniň **P** ululykly deňtäsiredijisini kesgitläliň. Bu güýji umumy ýagdaýda basyş göwrüminiň wektor agramy hökmünde, onuň degişli emelegetirijileriniň geometrik jemi görnüşinde kesgitläp bolar, ýagny

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \qquad (2.44)$$

bu ýerde

$\mathbf{P}_x$ we $\mathbf{P}_y$ – jemleýji basyş güýjiniň degişlilikde getirilen koordinat ulgamynyň gorizontal oklaryna, bolan proýeksiýalary,

P$_z$ – ýokarda agzalan tertipde kabul edilen dik oka bolan proýksiýasy.

P$_x$, **P**$_y$ we **P**$_z$ emelegetirijileriniň ululyklary kesgitlenilende, olaryň kabul edilen giňişlikde esasy güýç **P** bilen emele getirýän α, β we γ burçlarynyň ululyklaryny kesgitläp bolar:

$$\cos\alpha = \frac{P_x}{P}$$

$$\cos\beta = \frac{P_y}{P} \qquad (2.45)$$

$$\cos\gamma = \frac{P_z}{P}$$

Şeýlelikde, islendik egri çyzykly üste täsir edýän jemleýji gidrostatiki basyş güýjiniň ululygyny we ugruny kesgitlemeklik meselesi onuň emelegetirijiniň ululyklaryny we ugurlaryny kesgitlemek meselesine getirilýär. Bu umumy analitiki usuly, görnüşi şar, silindr ýa-da konus şekilleri bilen çäklenen üstlere suwuklyklar ýa-da gazlar tarapyndan täsir edýän basyş güýçleriniň ululyklary kesgitlenilende kynçylyksyz ulanyp bolar. Yöne seredilýän egri çyzykly üst üçinji we ondan ýokary derejeleri egri çyzykly üstlere degişli bolanda, jemleýji basyş güýjiniň ululygyny grafo-analitiki usul bilen kesgitlemeklik oňaýly we düşünikli bolar.

Grafo-analitiki çözgüdiň usulyýetine laýyklykda, egri çyzykly üstlerde döreýän gidrostatiki basyş güýjiniň **P**$_x$ we **P**$_y$ gorizontal emelegetirijilerini aýratynlykda, seredilýän üstiň degişli tekiz proýeksiýalaryna täsir edýän jemleýji güýçler görnüşinde, şeýle-de, **P**$_z$ emelegetirijini degişli dik basyş göwrüminiň agramy görnüşinde kesgitläp bolar.

Onda, 2.27-nji suratdan görnüşi ýaly, **P**$_x$ we **P**$_y$ gorizontal emele getiriji güýçleri, berlen ABS egri çyzykly üstüň, degişlilikde, y o z we x o z dik tekizliklere bolan proýeksiýalary ω_{yoz} we ω_{xoz} tekiz üstlere täsir edýän güýçler diýip hasaplamaly, ýagny:

$$\mathbf{P}_x=\rho g h'_ç \quad \omega_{yoz}$$

$$\mathbf{P}_y=\rho g h''_ç \, \omega_{xoz} \qquad (2.46)$$

bu ýerde:

$h'_ç$ we $h''_ç$ - degişlilikde ω_{yoz} we ω_{xoz} tekiz üstleriň agyrlyk merkezleriniň çuňlugy.

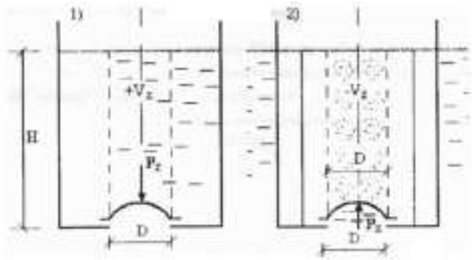
$\mathbf{P}_x$ we $\mathbf{P}_y$ güýçleriň ugurlary, 2.6. we 2.7. paragrflarda belleýşimiz ýaly, ω_{yoz} we ω_{xoz} tekiz üstleriň basyş merkezlerinden geçýän we üstlere perpendikulýar çyzyklar bilen gabat gelýän wektor ugurlar görnüşinde kesgitlenilýär.

$\mathbf{P}_z$ emelegetiriji ABS üst bilen onuň x o y tekizlige (bu tekizlik hökman suwuklygyň üst tekizligi ýa-da şoňa getirlen gorizontal tekizlik bilen gabat gelmeli) bolan ω_{xoy} proýeksiýasynyň aralygynda döreýän V_z dik basyş göwrüminiň agramyna deň bolan güýjiň ululygyna deňdir:

$$P_z=\rho g V_z \qquad (2.47)$$

Bu güýjiň ugry, V_z dik basyş göwrüminiň simmetriýa okunyň ugry bilen gabat gelýär. Amaly meseleler dogry çözülende, $\mathbf{P}_x$, $\mathbf{P}_y$ we $\mathbf{P}_z$ emele getiriji güýçleriň ugurlary ABS üstüň D basyş merkezinde kesişerler.

Bellik: Wertikal emelegetiriji $\mathbf{P}_z$ güýjiň ululygyny we ugruny kesgitleýän V_z wertikal basyş döwrüni položitel (+) ýa-da otrisatel (-) belgili bolup biler.



2.28-nji surat

2.28-nji suratda H beýiklikli wertikal gabyň düýbindäki D diametrli deşigi ýapýan ýarymşar şekilli gapaga täsir edýän $\mathbf{P}_z$ güýjiň ugry iki ýagdaýda şekillendirilen. Birinji ýagdaýda gap suwuklykdan doldurylan ýa-da suwuklyk tarapyndan gapaga täsir edýän ýeke-täk $\mathbf{P}_z$ güýji döredýän V_z dik basyş göwrümi hakykatdan hem gönümel gapagy dik aşak ugrukdyrylan agyrlyk güýji bilen gabyň düýbine gysýar. Bu ýagdaýda V_z basyş göwrümi položitel (+) hasaplanylýar we $\mathbf{P}_z$ güýç dik aşak ugrukdyrylandyr.

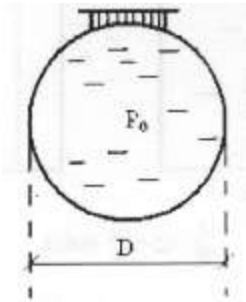
Ikinji ýagdaýda gabyň içi boş, suwuklyk onuň daş töwereginde ýerleşen. Bu ýagdaý-da gapaga suwuklyk tarapyndan ýeke-täk wertikal $\mathbf{P}_z$ güýç täsir edýär. Emma, bu güýç dik ýokaryk ugrukdyrylandyr, sebäbi, ony döredýän V_z wertikal basyş döwrüni hyýalydyr we gönümel gapaga gysyjy basyş güýji hökmünde täsir edýän däldir. Bu zeýilli basyş göwrümine otrisatel (-) basyş göwrümi diýilýär. Getirilen mysaldaky basyş güýjiniň ululygyny kesgitläliň. Mysalyň şertine laýyklykda gabyň gorizontal proýeksiýalary ähli tarapa bir meňzeş bolany sebäpli P_x=P_y=0**;** dik güýç $\mathbf{P}_z=\rho g V_z$; dik basyş göwrüminiň agramyna deňdir.

$$V_z = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H - \frac{1}{12}\pi D^3 \text{ onda}$$

$$P = P_z = \rho g \cdot \frac{\pi D^2}{4}\left(H - \frac{D}{3}\right) \qquad (2.48)$$

2.10 Käbir egriçyzykly üstlere gidrostatiki basyşyñ mysallary

Diametri D bolan şar şekilli rezerwuar P_0 ululykly ýokary basyşly suwuklyk ýa-da gaz bilen doldurylanda onuň howply kesiginde döreýän **P** basyş güýjiniň ululygyny kesgitlemek giñ ýaýran meseleleriñ biridir.



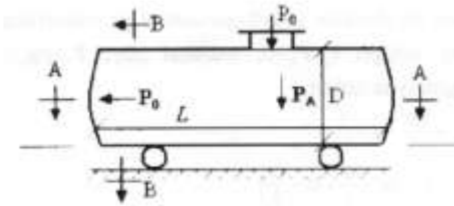
2.29-njy surat

Bu ýagdaýda rezerwuaryň diametri boýunça geçirilen islendik kesik howply ýa-da hasaplama kesigi bolup biler. Sebäbi bu kesik seredýän üstümiziň islendik tekizlikde döredýän proýeksiýa şekilidir. Onda, suwuklygyň ýa-da gazyň $\mathbf{P_0}$ basyşynyň döredýän **P** gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy

$$P = P_o \frac{\pi D^2}{4}, N \qquad (2.49)$$ bolar.

Bu güýç, rezerwuaryň diwarlaryny islendik diametral kesik boýunça ýolujy (ýaryjy) güýç hökmünde kabul edilmeli.

Nebit önümlerini ýa-da beýleki suwuklyklary daşaýan demirýol çelegi ρ dykyzlykly suwuklyk bilen doldurylanda we jebis ýapylanda, suwuklygyň **P**0 doýan buglarynyň üst basyşynyñ we suwuklygyñ hususy agramynyñ çelegiň hasaplama (howply) kesiklerinde döredýän gidrostatiki basyş güýçleriniň ululyklarynyñ kesgitlenilşine seredeliñ çelegiň geometriki ölçegleri D we *L*.



2.30-njy surat

2.30-njy suratdan görnüşi ýaly, A-A we B-B kesikle mehaniki berklik we durnuklylyk nukdaý nazaryndan hasaplama ýa-da howuply kesikler bolup bilerler.

A-A kesik boýunça döreýän dik $\mathbf{P}_A$ gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy, kesigiň midel (proýeksiýa) meýdanyna täsir edýän ρgD ululykly gidrostatiki agyrlyk we $\mathbf{P}_0$ ululykly üst basyşlarynyň döredýän jemleýji güýçleriniň ululygy hökmünde kesgitleniler. Onda:

$$P_A = \left(P_o + \rho g \frac{D}{2} \right) \cdot D \cdot L \qquad (2.50)$$

Bu ýerde -üst basyşyň döredýän güýji, pg–dik basyş göwrüminiň döredýän güýji.

B-B kesik boýunça döreýän P_B ululykly gorizontal gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy çelegiň dik tekizlige bolan proýeksiýasyna täsir edýän jemleýji güýç görnüşinde kesgitleniler. Onda

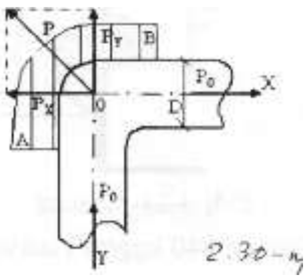
$$P_B = \left(P_o + \rho g \frac{D}{2} \right) \frac{\pi D^2}{4} \qquad (2.51)$$

Bu ýerde - $P_o \dfrac{\pi D^2}{4}$ üst basyş güýji, $\rho g \dfrac{\pi D^3}{8}$ – gorizontal basyş göwrüminiň döredýän güýji.

Kesgitlenilen P_A we P_B güýçler A-A we B-B kesikleriň basyş merkezlerinden geçirilen degişli perpendikulýarlar boýunça çelegiň diwarlaryna täsir eder.

Mysal üçin, diametri D=3m, uzunlygy L=12m içi benzinli (ρ=740 kg/m^3 doýan bugyň basyşy P_0=50 kPa) demirýol sisternasynda $\mathbf{P_A}$=(50·10^3+740·9,81·1,5)3·12=2,5·10^{6}N=250 tonna dik hem-de $\mathbf{P}$=(50·10^3+740·9,81·5)·3,14·9/4=4,27·10^{5}N=42,7 tonna gorizontal basyş güýçleri dörär.

Diametri D bolan gorizontal magistral geçiriji turbanyň göni burç boýunça egreldilen öwrüminde döreýän basyş güýjiniň ululygyny kesgitlemek tutuş turbageçirijiniň, esasynda onuň öwrüminiň berklige we durnuklylyga hasaplanylmagyň esasy şertidir.



2.31-nji surat

Turbanyň x we y gorizontal oklarynyň ugry boýunça döreýän $\mathbf{P_x}$ we $\mathbf{P_y}$ basyş güýçleriniň geometrik jemi hökmünde kesgitlenilýän $\mathbf{P}$ jemleýji basyş güýji bu meselede esasy hasaplama ýa-da turbanyň mehaniki durunyklylygyny kesgitleýän güýçdir. 2.31-nji suratdan görnüşi ýaly **P** güýç x o y tekizligiň ters simmetriýa böleginiň dioganaly boýunça ugrukdyrylandyr. Praktikada bu güýji deňagramlaşdyryjy reaktiw garşylykly güýç hökmünde, turbanyň ýörite direg gurluşlary gurnalýar. Öz gezeginde $\mathbf{P}_x$ we $\mathbf{P}_y$ deň ululykly güýçler $\mathbf{P}_0$ ululykly içki statiki basyşyň döredýän dik göwrümleriniň agramlary görnüşinde kesgitleniler:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} \tag{2.52}$$

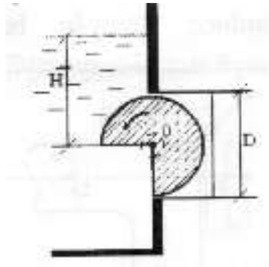
$$P_x = P_y = P_o \frac{\pi D^2}{4} \text{ onda } P = \sqrt{2\left(P_o \frac{\pi D^2}{4}\right)} \text{ ýa-da}$$

$$P = \sqrt{2} \cdot P_o \frac{\pi D^2}{4} \tag{2.53}$$

Mysal üçin, D=1m we P_0 =7,5 MPa bolan gaz geçirijiniň gönïburçly öwrüminde ululygy $P = 7{,}5 \cdot 106 \cdot 3{,}14 \cdot 1^2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{4} = 8{,}325 \cdot 10^6 N = 8{,}325 \cdot 10^5 kgg$ ýa-da *832,5* tonna güýç dörär.

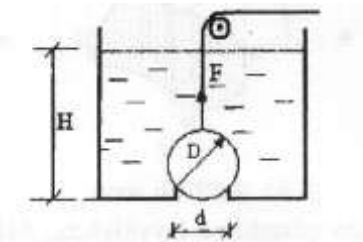
Meseleler we mysallar

30. Nebit ýa-da nebit önümleri saklanýan açyk rezerwuaryň dik diwarynyň göniburçlyk şekilli deşiginde (DxB) silindr şekili zatwor (ýapyjy hem-de döküji gapak) oturdylypdyr. Zatwor O okuň daşynda aýlaw hereketini edýär (2.32-nji surat).Umumy görnüşde zatworo täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniñ ululygyny kesgiylemeli.



2.32-nji surat

31. Goýy nebit önümi (γ=840 kgg/m^3) saklaýan rezerwuaryň düýbindäki d=0,6m diametrli deşik D=1,0, diametrli şar şekilli klapan bilen ýapylan. (2.33-nji surat). Klapanyň agramy Gk=6000N. Rezerwuardaky ýagyň derejesi H=6,0m bolanda, klapany açmak üçin nähili F güýç sarp etmeli? Şeýlede ýagyň H derejesi nähili üýtgände klapanyň özi açylar?



2.33-nji surat

2.11 Arhimediň kanuny. Jisimleriň suwuklyklarda ýüzmegi

Biziň eramyzdan takmynan 250 ýyl öň ýaşap geçen genial grek akyldary Arhimed "Ýüzýän jisimler hakda" atly ylmy golýazmasynda aşakdaky kanuny beýan etdi. "Suwuklyga çümdirilen jisime şol suwuklyk tarapyndan ululygy gysyp çykarylan suwuklygyň agramyna deň bolan we dik aşakdan ýokaryk ugrykdyrylan itiji basyş güýji täsir edýär". Bu kanun we itiji basyş güýji ylma Arhimediň ady bilen girdi. Onda, Arhimediň güýji:

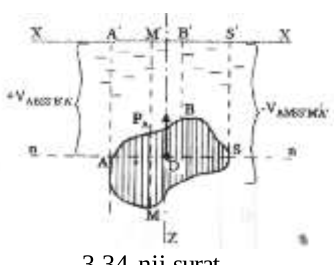
$$\mathbf{P}_A=\rho_s g V_s \qquad (2.54)$$

bu ýerde:

P_s – suwuklygyň dykyzlygy;

V_s – ýüzýän jisimiň gysyp çykaran suwuklýgynyň göwrümi (jisim doly çümüp ýüzende $V_s=V_j$. ýa-da jisimiň gysyp çykaran suwuklygyň göwrümi V_s onuň öz hususy göwrümine V_j deňdir; jisim gaýyp ýüzende $V_s=V_{jçb}$, ýa-da jisimiň gysyp çykaran suwuklygynyň göwrümi V_s onuň suwuklyga çümen böleginiň göwrümine $V_{jçb}$ deňdir).

Arhimediň kanuny subut etmek üçin, ABSM egri çyzykly üst bilen çäklenen, erkin şekilli gaty jisim doly çümdürilende, suwuklyk tarapyndan oňa täsir edýän basyş güýjiniň ululygyny we ugruny kesgitläliň. (2.34-nji surat).



3.34-nji surat

2.9. beýan edilen çözgütlere laýyklykda, ABSM üste ýa-da ýüzýän jisime täsir edýän gorizontal güýçleriñ deñtäsır edijileri $\mathbf{P}_x=\mathbf{P}_y=0$. Sebäbi, üstiň degişli garşylykly dik tekizliklere bolan proýeksiýalary özara deňdirler, diýmek olarda döreýän basyş güýçleri hem özara deňagramlaşýandyrlar. Onda, suwuklyk tarapyndan jisime diňe $\mathbf{P}_z$ dik güýç täsir edýär. Bilişimiz ýaly, bu güýç dik basyş göwrüminiň agramyna deňdir. Bu basyş göwrüminiň şekilini ululygyny we belgisini anyklamak üçin berlen ABSM üstiniň gorizantal simmetriýa tekizligi bilen iki üste ýagny ýokarky ABS we aşaky AMS üstlere bölüp, olar üçin aýratynlykda wertikal basyş göwrümlerini guralyň.

Bu basyş göwrümleriniň ýokarky çägi x-x üst gorizantal tekizlikde we aşaky çägi ýüzýän jisimi çäklendirýän ABS hem-de AMS üstlerde ýerleşendir. Onda ABSS'B'A' položitel we AMSS'M'A' otrisatel basyş göwrümleriniň deňagramlaryna seredeliň. Bu basyş göwrümleriniň ýokarky esasy we gapdal dik emelegetirijileri umumydyrlar. Olar diňe aşaky esaslary bilen tapawutlanýarlar. Onda bu basyş göwrümleriniň agramlarynyň algebraik jemi:

$$-\rho g V_{AMSS'M'A'} + \rho g V_{ABSS'B'A'} = -\rho g V_{ABSM} = P_z = P_A \qquad (2.55)$$

Diýmek dik basyş göwrümleriniň agramlarynyň algebraik jemi, jisimiň gysyp çykaran suwuklygynyň göwrüminiň (V_{ABSM} ýa-da V_s) agramyna deňdir. Bu agram ýa-da güýç aşakdan ýokaryk dik, ABSM ýüzýän jisimiň dik simmetriýa oky boýunça ugrukdyrylandyr. Bilişimiz ýaly bu güýç Arhimediň güýjidir we ol ýüzýän jisime onuň basyş merkezinde (D-nokat) ýa-da V_s göwrümiň agyrlyk merkezinde täsir edýär.

Şeýlelikde, ýüzýän gaty jisime umumy ýagdaýda iki güýç, ýagny dik aşak ugrukdyrylan jisimiň agyrlyk merkezinde (Ç nokat) ýerleşen agyrlyk güýji G we dik ýokaryk ugrukdyrylan, jisimiň basyş merkezinde (D nokat) ýerleşen Arhimediň güýji $\mathbf{P}_A$ täsir edýändir:

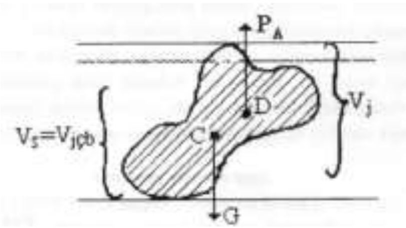
$$G = \rho_j g V_j$$

$$P_A = \rho_s g V_s \qquad (2.56)$$

Onda, jisimleriň ýüzmeklik şertlerini kesgitleýän ululyklar G we $\mathbf{P}_A$ güýçler ýa-da ρ_j we ρ_s dykyzlyklardyr. Eger-de G>$\mathbf{P}_A$ (ρ_j>ρ_s) bolsa, onda jisim doly çümer we ýüzüp bilmez.

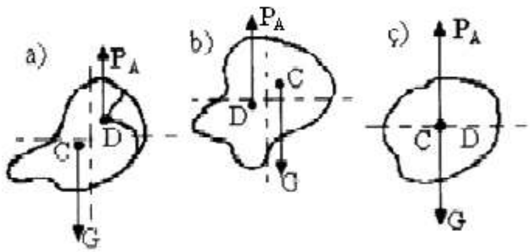
G<$\mathbf{P}_A$ (ρ_j<ρ_s) bolanda, jisim gaýyp ýüzer. Bu ýagdaýda, 2.35-nji suratdan görnüşi ýaly jisimiň çümen böleginiň $V_{jçb}$ gysyp çykaran suwuklygynyň göwrüminiň agramy jisimiň öz hususy agramyna G deň bolýança jisim suwuklygyň ýüzüne çykar.

Üçünji ýagdaýda, ýagny, G=$\mathbf{P}_A$ (ρ_j=ρ_s) bolanda, jisim çümüp ýüzer. Bu şert diňe V_j=V_s bolanda ýerine ýetirilip biliner.



2.35-nji surat

Ýüzýän jisimleriň deňagramlygy merkezleriň, yagny, agyrlyk we basyş merkezleriniň özara ýerleşişine baglydyr. 2.36-nji suratlarda ýüzýän jisimleriň deňagramlyk şertleri suratlandyrylypdyr. Eger-de jisimiň agyrlyk merkezi onuň basyş merkezinden aşakda ýerleşse (2.36-njy (a) surat) onda jisim durnukly ýüzer.



2.36-njy surat

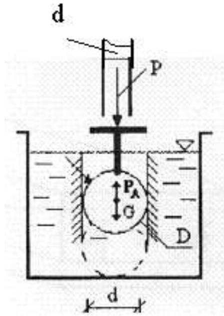
Sebäbi jisime täsir edýän G we $\mathbf{P}_A$ güýçleri onuň wertikal simmetriýa okuna görä dikeldiji güýçler pursadyny döredýär.

Ýüzýän jisim belli bir çäklerde gyýşaranda ýa-da çaýkananda, güýçler ony öňki ýagdaýyna getirýär. 2.36-njy (b) suratda durnuksyz ýüzmeklik ýagdaýy suratlandyrylypdyr. Deňagramlygyň bu şertine laýyklykda, jisimiň agyrlyk merkezi onuň basyş merkezinden ýokarda ýerleşýär. Onda, ýüzýän jisimiň simmetriýa okuna görä, güýçler agdaryjy pursady, ýagny, jisimiň statiki deňagramlygyna garşy pursady döredýärler.

Üçünji deňagramlyk şertine parhsyz ýüzmeklik diýilýär. Bu şert (2.36-njy (ç) surat) iki merkez bir nokatda gabat gelende ýüze çykýar. Parhsyz deňagramlyk halynda ýüzýän jisimi berlen ýagdaýda saklamak üçin ujypsyz ululykly üçünji güýç ulanylmagy hökmandyr.

Meseleler we mysallar

32. Diametri D bolan şar şekilli klapan P=0,4 M*P*a basyşly d=20mm diametrli suw turbasynyň çykýan kesigini ýapýar. 2.37-nji suratdaky deňagramlyk şerti üpjün edýän şaryň diametrini kesgitlemeli? Klapanyn agramy G=5,2 kgg. Şekillendirilen deň agramlyk ýagdaýynda klapana üç sany güýç täsir edýär.



2.37-nji surat

Dik aşaklygyna klapanyň ýapyjy üst tekizliginde döreýän $P = P\frac{\pi D^2}{4}$ ululykly basyş güýji we klapanyň öz hususy agramy G hem-de dik ýokarlygyna suwuklyk tarapyndan doly çümen şara täsir edýän $P = \rho_s g \frac{1}{6}\pi D^3$ ululykly Arhimediň itiji güýji.

Onda, güýçleriň deňagramlygynyň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$G + \boldsymbol{P} = \boldsymbol{P}_A$$

ýa-da

$$G + P\frac{\pi d^2}{4} = \rho_s g \frac{1}{6}\pi D^3$$

Şeýlelikde, deňagramlyk şerti kanagatlandyrýan şar şekilli klapanyň diametrini soňky deňlemeden kesgitläp bolar:

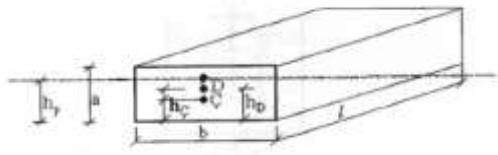
$$D = \sqrt[3]{\frac{6(G + 0,785 \cdot d^2 \cdot P)}{\pi \cdot \rho_S \cdot g}}, m$$

Mysalda berilen ululyklary ýerli ýerine goýup şaryň diametriniň ululygyny kesgitleýäris:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6(5,2 + 9,81 + 0,785 \cdot 0,02^2 \cdot 0,4 \cdot 10^6)}{3,14 \cdot 1000 \cdot 9,81}} = 0,322m$$

$$D = 322\,mm.$$

33. Agramy Gý=10 tg bolan ýüki suw päsgelçiliginden geçirmek üçin ölçemeleri b=2,0m we 1=5,0m bolan panton (ýüzýän gurnaw) ýasaldy. (2.38-nji suratda). Pantonyň agramy Gp=2,0 tg, agyrlyk merkeziniň beýikligi hç=0,55m. Panton ýükli ýüzende aşaklygyna nace çümer? Onuň ýüzmeginiň durnuklylygy nähili bolar? Pantonyň umumy beýikligi näçe bolmalý?



2.38-nji surat

Meselem ýükli pantonyň gaýyp durnukly ýüzmegini üpjin edýän şerte laýyklykda çözýäris. Bu şertde ýükli pantonyň agramy we suwuklyk tarapyndan pantona täsir edýän Arhimedi itiji güýçleri deňagramlaşmaly we ýüzýän pantonyň basyş merkeziniň beýikligi onuň agyrlyk merkeziniň beýikligine deň ýa-da ondan uly bolmaly ($h_D \geq h_Ç$). Onda:

$$G_ý + G_p = \mathbf{P}_A$$

ýa-da

$$G_{ý}+G_{p}=\rho_{s}gb.l.h_{p}$$

Bu ýerde $V_{çbg}$ - ýükli pantonyň çümen böleginiň göwrümi; h_p - ýükli pantonyň çümen böleginiň beýikligi.

Onda
$$h_p=\frac{G_y+G_p}{\rho_s g\cdot b\cdot l}$$

Berlen ululyklary degişli birliklerde alynan aňlatma goýup meseläniň birinji bölegini çözýäris:

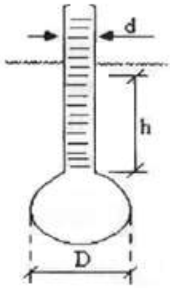
$$h_p=\frac{(10+2)\cdot 1000\cdot 9{,}81}{1000\cdot 9{,}81\cdot 2\cdot 5}=1{,}2\,m;$$

Ýükli pantonyň basyş merkeziniň beýikligi;

$$h_D=\frac{h_p}{2}=\frac{1{,}2}{2}=0{,}6\,m.$$

Pantonyň ýükli ýüzmesiniň deňagramlyk şerti ýokarda bellenilşi ýaly $h_D \geq h_Ç$ ýa-da $0{,}6\geq 0{,}55$m. Diýmek, ýükli panton durnukly deňagramlyk şertinde ýüzer. Pantonyň umumy beýikligi kabul edilen gurnaw şertine laýyklykda onuň hasaplama beýikliginden h_p ulurak bolmaly, mysal üçin $a=h_p+0{,}1=1{,}2+0{,}1=1{,}3$ m.

34. Suwuklygyň gykyzlygyny ölçemek üçin ulanylan areometr (ölçemeleri d=20mm, D=30mm, agramy G=0,054 kgg), 2.39-njy suratda görnüşi ýaly, aşaklygyna h=l50mm çümüpdir. Suwuklygyň dykyzlygynyň ululygyny kesgitlemeli.



2.39-njy surat.

38. Näbelli jisim böleginiň dykyzlygyny kesgitlemek üçin onuň agramyny iki gezek çekipdirler. Birinji gezek howada (G_h), ikinji gezek suwa doly çümen ýagdaýynda (G_s). Onda bölegiň agramlary degişlilikde G_h=750 kgg; G_s=150 kgg bolupdyr. Onuň dykyzlygynyň ululygy näçä deň bolar?

39. Suw päsgelçiliginden geçiriljek turbany (diametri d=1200 mm, diwarynyň galyňlygy δ=12 mm, uzynlygy *l*=80 m, materialynyň dykyzlygy ρ_m,=3200 kg/m^3) suwa çümdirmek we ony suwuň düýbinde saklamak üçin goşmaça näçe agramly ýük ulanmaly.

3. Gidrogazodinamçikanyň nazary esaslary

3.1. Suwuklyklaryň we gazlaryň hereketi barada esasy düşünjeler

Gidrogazodinamika gidrawlikanyň suwuklyklaryň we gazlaryň mehanikasynyň (amaly gidromehanikanyň) suwuklyklaryň we gazlaryň hereket kanunlaryny hem-de olaryň praktikada we tehnikada ulanylyşyny öwredýän bölümidir. Gidrogazodinamika suwuklyk ýa-da gaz hereketini san we hil taýdan ýazyp beýan etmekde Eýler tarapyndan hödürlenilen kinematiki model ulanylýar. Bu modele gidromehanikada suwuklyk hereketiniň çüwdürim modeli diýilýär. Hereketiň çüwdürim modeline laýyklykda, hereket giňişliginiň esasy elementler ýa-da olaryň toplumynyň emele getirýän akymlarydyr. Hereket edýän suwuklyk ýa-da gaz elementi (akymy, gatlagy, çüwdürimi) gidrogazodinamikada üznüksiz, boşluksyz hereket giňişligi hökmünde seredilýär. Gidrogazodinamikada şeýle-de çüwdürimleri ýa-da akymlary hereketlendiriji güýçler (daşky basyş, agyrlyk, inersiýa.....) ýörite kesgitlenilýär. Olar berlen ýa-da talap edilýän ulylyklar hökmünde seredilýärler.

Gidrogazodinamikada suwuklyk ýa-da gaz hereketini häsiýetlendirýän we kesgitleýän esasy ululyklar içki gidrogazodinamiki basyş (P) we hereketiň tizligidir (U, υ)

U- hereket giňişliginde ýerli ýa-da elementar bölejigiň (çüwdürimiň, gatlagyň) tizligi, $\upsilon-$suwuklyk ýa-da gaz göwrüminiň (akymyň) orta tizligi.

Içki gidrogazodinamiki basyş mehaniki häsiýetnamalary boýunça gidrostatikada seredilen basyşa meňzeşdir. Emma umumy hereket giňişliginde ol iki emele getiriji basyş ululyklaryna dargaýandyr, ýagny

$$P=P_{st}+P_{din} \qquad (3.1)$$

bu ýerde, P-hereketiň umumy içki basyşy, P_{st}-hereketiň statiki basyşy; P_{din}-hereketiň dinamiki basyşy.

Hereketiň statiki basyşy (P_{st}) hereket giňişligini (akymlary) çäklendirýän içki gaty üstlere normal ugur boýunça täsir edýän basyşdyr, dinamiki basyş (P_{din}) bolsa hereketiň tizlik wektoryna perpendikulýar ugur boýunça täsir edýän basyşdyr.

Gidrogazodinamiki hereketiň basyşy we tizligi hereket giňişliginiň islendik nokadynda onuň x, y, z koordinatalaryna we t wagta baglydyr. Funksional deňleme görnüşinde bu baglanyşyk aşaky görnüşde ýazylyp biliner:

$$P=f(x,y,z,t)$$
$$U=f(x,y,z,t) \qquad (3.2)$$

Şeýle-de umumy ýagdaýda hereket edýän elementar bölejikleriň (gatlaklaryň, çüwdürimiň) absolýut tizligi ($\overline{U}$) wektor ululyk, hökmünde onuň emelegetirijileri bolan $\overline{U}_x$, $\overline{U}_y$, $\overline{U}_z$ proýeksiýalarynyň geometriki jemi görnüşinde kesgitlenilýär, ýagny:

$$\overline{U = \overline{U_x}} + \overline{U}_y + \overline{U}_z \qquad (3.3)$$

Onda, hereketiň doly derejede çözgüdi onuň tizliginiň degişli proýeksiýalarynyň (3.2) deňlemede getirilen baglanyşyk görnüşde seredilmegini talap edýär, ýagny

$$U_x=f(x, y, z, t)$$
$$U_y= f(x, y, z, t) \qquad (3.4)$$
$$U_z= f(x, y, z, t)$$

Şunlukda, hereket edýän suwuklyk ýa-da gaz elementiniň basyşynyň we tizliginiň arabaglanyşygyny giňişlikde we wagt ölçeginde doly kesgitlemegiň matematiki çözgüdi köp funksiýaly çylşyrymly deňlemeler ulgamynyň bilelikde seredilmegine esaslanar.

Gidrogazodinamiki hereketi öwrenmegiň ýene-de bir aýratynlgy we çylşyrymlylygy – suwuklygyň (gazyň) gurluş tebygatynyň, olarda ýüze çykýan içki sürtülme ýa-da şepbeşiklik garşylyklarynyň çylşyrymlylygyna esaslanandyr. Şonuň üçin Eýleriň teklibi boýunça nazary gidrogazodinamikada esasan şepbeşiksiz hyýaly suwuklyklar (gazlar) seredilýär.

Nazary gidrogazodinamikada hereketi öwrenmegiň iki usuly ulanylýar:

1. Ž. Lagranžyň usuly;
2. L. Eýleriň usuly.

Lagranžyň usuly gidromehanika ylmynda başlangyç koordinatlar usuly diýlip atlandyrylýar. Oňa görä hereketi öwrenilýän her bir elementar bölejik başlangyç koordinatalar boýunça akýar hem-de hereketiň dowamynda onuň traýektoriýasy doly yzarlanylýar. Bu usul hereketi has doly beýan edýän hem bolsa, aşa çylşyrymlylygy sebäpli giňden ulanylmaýar.

Eýleriň usuly gidromehanikada hemişelik koordinatlar usuly diýlip atlandyrylýar. Oňa görä hereket giňişliginde aýry-aýry elementar bölejikleriň geçýän ýoly yzarlanylmaýar. Hereketi häsiýetlendirýän basyşyň we tizligiň ululyklaryhereket giňişliginiň dürli we hemişelik nokatlarynda geçýän wagta görä hasaba alynýar. Şeýlelikde, tutyş tekizlik üçin onuň tizlikler (basyşlar) meýdanyny (toruny) gurmak mümkinçiligi döreýär.

Gidrogazodinamikada hereketiň durnukly we durnuksyz, laminar we turbulent deňölçegli we deňölçegsizgörnüşlerine biri-birine baglanyşyklykda seredilýär.

Durnukly hereketde suwuklygyň ýa-da gazyň basyşy we tizligi islendik nokatda wagta görä üýtgemeýän ululyklardyr. Onda durnukly hereket üçin (3.2) funksional deňlemeler aşakdaky görnüşde ýazylarlar:

$$P=f\,(x, y, z)$$
$$U=f\,(x, y, z) \qquad (3.5)$$

Onda dP/dt=0 we du/dt=0, sebäbi, hereketiň dowamynda P=const, u=const.

Durnukly hereket deňölçegli ýa-da deňölçegsiz görnüşlerde bolup biler. Deňölçegli durnukly hereketde suwuklyk ýa-da gaz akymynyň birmeňzeş nokatlarynda tizlik hemişelik ululygyny saklar. Mysal üçin üýtgemeýän diametrli we hemişelik akym mukdarly turbalaryň birmeňzeş nokatlarynda ýerli tizlikler islendik kese-kesiklerde onuň islendik akymynyň orta tizlikleri öz ululyklaryny üýtgetmez. Deňölçegsiz durnukly hereketde ýerli tizlikler alynan nokatda ululygyny üýtgetmese-de akymyň ugruna alynan meňzeş nokatlarda ululygyny üýtgederler. Şeýle-de akymyň yzygiderli alynan kesiklerinde arta tizligiň ululygy üýtgär.

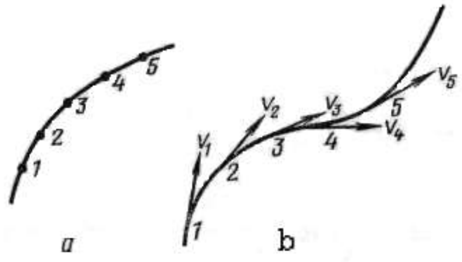
Durnuksyz hereketde akymyň islendik nokadynda basyş we tizlik wagta görä üznüksiz üýtgär. Durnuksyz herekediň mysaly hökmünde suwuklykdan doldurylan rezerwarlaryň deşikler ýa-da turbalar arkaly akdyrylyp boşadylşyny görkezmek bolar. Herekediň lominar we turbulent görnüşleri olaryň akyş kadalaryna akymlaryň içki hereket mehaniziminiň hem-de şepbeşiklik garşylygynyň aýratynlygyna degişlidir.

Lominar ýa-da turbolent kadaly akymlaryň deňölçegli ýa-da deňölçegsiz, durnukly ýa-da durnuksyz görnüşlerde bolup bilýändikleri düşünikli hadysadyr.

3.2 Suwuklyk (gaz) herekediniň çüwdürim modeliniň elementleri

Hyýaly suwuklyk (gaz) herekediniň çüwdürim modeli we onuň elementleri gidrogazodinamikanyň kinematiki başlangyjydyr. Tehniki mehanikadan tapawutlylykda gidrawlikada kinematikanyň seredýän esasy elementi üznüksiz we boşluksyz hereket giňişligiň alynan suwuklygynyň (gazyň) elementar bölejigidir. Bu bölejigiň islendik nokadynda dykyzlyk, basyş we tizlik hemişelik ululyklardyr.

Herekediň çüwdürim modeliniň ilkinji giňişlik elementi akym çyzygydyr. Bu çyzygyň islendik nokadynda berlen t wagt pursatyndan tizlik wektorlary, oňa galtaşýan çyzyklar bolmalydyrlar. 3.1 a we 3.1 b suratlarda durnukly we durnuksyz hereketlerde akym çyzyklary şekillendirilen.



3.1-nji surat

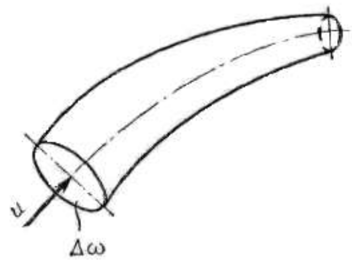
Durnukly hereketde akym çyzyklary t wagtyň dowamynda hemişelikler hem-de elementar bölejikleriň hereket troýektoriýalary bilen gabat gelýändirler. Durnuksyz hereketde dürli wagt pursatlarynda (t_1,t_2) dürli akym çyzyklary emele gelerler.

Hereket giňişliginde akym x, y, z koordinatly nokadyň absolýut tizligine emele getirijileri U_x,U_y,U_z ululykda bolsalar hem-de bu nokat akym çyzygynyň ugry bilen dl aralykdaky x+dx, y+dy, z+dz koordinatly nokada süýşse, onda akym çyzygynyň üznüksiz herekedini beýan edýän aňlatma aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$\frac{Ux}{dx} = \frac{Uy}{dy} = \frac{Uz}{dz} \qquad (3.6)$$

3.6 deňligi akym çyzygynyň deňlemesi diýlip atlandyrylýar.

Akym giňişliginde $\Delta\omega$ ululykly elementar meýdany çäklendirýän ýapyk kontur alalyň (3.2-nji surat)



3.2-nji surat

Eger-de berlen t wagt pursadynda $\Delta\omega$ konturyň ähli nokatlaryndan akym çyzyklaryny geçirip bolsa, onda emele gelen elementar giňişlik üst şekiline akym turbajygy diýip bolar. Akym turbajygynyň üsti diňe akym çyzyklary bilen çäklenendir. Şonuň üçin bu üst üznüksizdir, bitewidir hem-de daşky gurşaw bilen alyş-çalyşsyzdyr. Akym turbajygy boýunça hereket edýän elementar suwuklyk (gaz) göwrümine elementar çüwdürim diýilýär.

Elementar çüwdürim 1-1 we 2-2 tekiz kesikler bilen çäklenen dl uzynlykly dV elementar göwrümine seredeliň. Bu göwrümiň ululygy aşakdaky aňlatma boýunça kesgitlenilýär:

$$dV = \Delta\omega\, dl \qquad (3.7)$$

eger-de (3.7) aňlatmanyň iki tarapynyda dt wagta bölsek, onda elementar çüwdürimiň dq göwrüm mukdarynyň ululygy alynar, ýagny

$$\frac{dV}{dt} = \Delta\omega \frac{dl}{dt} \qquad \text{ýa-da} \qquad dq = \Delta\omega\, U \qquad (3.8)$$

Bu ýerde $U=\frac{dl}{dt}$ elementar çüwdürimiň tizligidir.

Akymyň elementar çüwdürimleri aşakdaky häsiýetlere eýedirler :

1. Durnukly hereketde elementar çüwdürimiň şekilli hemişelikdir.

2. Elementar çüwdürimiň mukdary hemişelikdir, sebäbi ony emele getirýän akym çyzyklary özara kesişmeýärler, çüwdürimden çykmaýarlar we oňa daşyndan girmeýärler.
3. elementar çüwdürimiň kese (janly) kesiginiň islendik nokadynda basyş we tizlik üýtgemeýän ululyklardyr.

Hereketiň çüwdürim modeliniň ahyrky we esasy gidrawliki elementi suwuklyk ýa-da ýa-da gaz akymlarydyr. Akym diýlip üznüksiz we bütewi hereket giňişliginde ω meýdanly ýapyk çäkli konturdan akyp geçýän elementar çüwdürimler toplumyna aýdylýar. Suwuklyk (gaz) hereketiniň we akymlarynyň ýokarda seredilen geometriki we kinematiki häsiýetnamalaryna esaslanyp akymlaryň gidrawliki görkezijilerine we häsiýetnamalaryna seredeliň. Eger-de ω ýapyk kontur hereketiň tizlik wektoryna dik ugurda geçirilen bolsa, onda oňa akymyň janly kesigi diýilýär.

Suwuklygyň (gazyň) akgynlyk materiýa häsiýetini we onuň hereketiniň üznüksizligini nazara alyp akymyň ω janly kesiginiň hem-de akymy emele getirýän çüwdürimleriň $d\omega$ elementar janly kesikleriniň jeminiň özara deň ululykdygyna göz ýetirip bolar, ýagny

$$\omega = \int_{\omega}^{\cdot} d\,\omega \qquad (3.9)$$

Akymyň janly kesiginiň mysallary hökmünde doly akymly r radiusly we d diametrli turbanyň dik kesiginiň meýdanyny

$$\omega = \pi r^2 = \frac{\pi \mathrm{d}^2}{4}$$

Ýarym akymly turbanyň akymynyň meýdanyny

$$\omega = \frac{\pi r^2}{2} = \frac{\pi \mathrm{d}^2/_8}{\omega = b\,h}$$

Gönüburçlyk kesikli kanalyň meýdanyny

$\omega = b\,h$ (b-kanalyň ini, h-kanalyň çuňlugy) görkezmek bolar.

Akymyň λ öllenýän perimetri diýilip onuň janly kesiginiň perimetriniň akymy çäklendirýän gaty üstleri ölleýän bölegine aýdylýar. Ýokarda seredilen mysallarda, degişlilikde akymlaryň ölleýän perimetrleri aşakdaky görnüşde kesgitleniler:

doly akymly turbada $\lambda = 2\pi r = \pi d$

ýarym akymly turbada $\lambda = \pi r = \frac{\pi d}{2}$ (3.10)

göniburçlyk kesikli kanalda $\lambda = b + 2h$

Akymyň ω janly kesiginiň onuň λ öllenýän perimetrine bolan gatnaşygyna R akymyň gidrawliki radiusy diýilýär. Ýokarda seredilen mysallarda degişlilikdegidrawliki radiusyň ululyklary aşakdaky görnüşde ýazylarlar:

doly akymly turba $R = \frac{\omega}{\lambda} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$

ýarym akymly turbada $R = \frac{r}{4} = \frac{d}{8}$ (3.11)

gönüburçlyk kesikli kanalda $R = \frac{bh}{b+2h}$

Akymyň Q göwrüm mukdary diýip t wagt birliginde onuň janly kesiginiň üstünden akyp geçýän V göwrüminiň ululygyna aýdylýar.

$$Q = \frac{V}{t}, \quad \frac{m^3}{s} \tag{3.12}$$

Akymlaryň hasaplamalarynda olaryň G agram we M massa mukdary degişlilikde aşakdaky görnüşde kesgitleniler:

$$G = \rho g Q, \quad \frac{N}{s} \tag{3.13}$$

$$M = \rho Q, \ \frac{kg}{s}; \ \frac{kg}{sag} \tag{3.14}$$

Akymyň ýokarda getirilen kesgitlemesine laýyklykda, onuň göwrüm mukdaryny akymy emele getirýän elementar çüwdürimleriň dq göwrüm mukdarynyň jemi hökmünde kesgitläp bolar, ýagny

$$Q = \int_{\omega}^{\cdot} dq = \int_{\omega}^{\cdot} U d\omega \qquad (3.15)$$

3.15 deňlemäni çözmek üçin, seredilýän akymyň çäginde ýerli U tizlikleriň paýlanyşynyň takyk kanuny akymlarda ýerli tizlikleriň paýlanyş kanunlary olaryň hereket kanunlaryna baglydyr. Bu kanunlar kitabyň indiki bölüminde takyk seredilýär. Şonuň üçin suwuklyk (gaz) hereketiniň kinematikasynda akymlaryň orta tizligi atly düşünje girizilýär. Orta tizlik ϑ diýilipakymyň ω janly kesiginiň üstünden akyp geçýän hakyky Q göwrüm mukdarynyň ululygyny kanagatlandyrýan ϑ tizlige aýdylýar. Onda

$$Q = \frac{Q}{\omega} \qquad (3.16)$$

ýa-da

$$Q = \omega\vartheta \qquad (3.17)$$

Alynan 3.17 aňlatma gidrawliki hasaplamalarda giňden ulanylýan formuladyr. Bu formula akymlaryň esasy gidrawliki görkezijileriniň arabaglanyşygyny kesgitleýändir. Mysal üçin, doly akymly turbalaryň hasaplamalarynda bu formulany esasy meseläni, ýagny berilen ýa-da kabul edilen Q we ϑ ululyklarda talap edilýän diametriniň ululygyny kesgitlemek üçin ulanyp bolar:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\vartheta \qquad (3.18)$$

ýa-da

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\vartheta}} \qquad (3.19)$$

Akymyň orta tizligi toslanan ýa-da ýokarda agzalan şertlere laýyklykda kabul edilen tizlikdir. Emma bu tizligiň ululygy seredilýän akymlarda onuň ýerli tizlikleriniň paýlanyş kanunyna laýyklykda ortalaşdyrylan ululygyna hökmany suratda gabat gelmelidir. Şeýlelikde bolsa, orta tizligiň ululygy boýunça diňe akymyň göwrüm mukdaryny kesgitläp bolar. Bu tizligiň ululygy boýunça kesgitlenilen akymyň K_{hm} hereket mukdarynyň we akymyň E_{ke} kinetik energiýasynyň ululyklary degişli düzediş koeffisiýentleri arkaly kesgitlenilmelidirler:

$$K_{hm} = \alpha^I M\vartheta = \alpha^I \rho Q\vartheta \qquad (3.20)$$

$$E_{ke} = \frac{\alpha M\vartheta^2}{2} = \frac{\alpha\rho Q\vartheta^2}{2} \qquad (3.21)$$

bu ýer-de

α^I-akymyň hereket mukdarynyň düzediş koeffisiýenti,

$\alpha^I = 1.03 \div 1.1$,

α-akymyň kinetik energiýasynyň düzediş koeffisiýenti,

$\alpha = 1 \div 2$,

α^I we α düzediş koeffisiýentleriniň hakyky ululyklary akymyň hereket mukdarynyň we kinetik energiýasynyň ýerli we orta tizlikleriň ululyklary boýunça kesgitlenilen bahalarynyň gatnaşyklaryna deňdirler.

3.3. Akymyň görnüşleri

Suwuklyk we gaz akymlarynyň görnüşleri olary hereketlendiriji güýçleriň tebygaty hem-de akymlaryň we olary çäklendiriji daşky gurşawyň özara täsir mehanizmleriniň aýratynlyklary boýunça kesgitlenilýär.

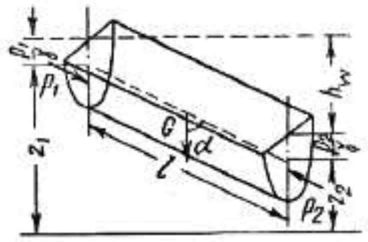
Bu babatda suwuklyk we gaz akymlary aşakdaky böleklere bölünýärler:

1. Basyşly ýa-da naporly akymlar

Bu akymlar daşky basyş güýçleriniň ýa-da başky artykmaç gidrostatiki naporyň hasabyna hereket edýärler hem-de tutyş öllenýän perimetri boýunça gaty üst bilen çäklenendirler. Basyşly akymlaryň mysallary hökmünde suw, nebit we gaz akdyrýan magistral turbageçirijileri, şäherleriň we beýleki ilatly punktlaryň suw, gaz paýlaýjy turbalaryny hem-de suwuk we gaz önümlerini gaýtadan işleýän zawotlaryň geçiriji turbalar ulgamlaryny görkezmek bolar. Agzalan turbageçiriji ulgamlarda akymlary hereketlendiriji basyşlar nasos ya-da kompressor desgalarynyň kömegi bilen döredilýär. Basyşly gidrawliki geçiriji ulgamlaryň tilsimat hasaplamalarynyň esasy meselesi ulgamyň gidrawliki häsýetnamalarynyň nasos ýa-da kompressor desgalarynyň iş häsiýetnamalary bilen amatly gatnaşygyny kesgitlemekdir.

2. Basyşsyz ýa-da naporsyz akymlar

Bu akymlar esasan öz hususy agyrlyk güýjiniň hasabyna hereket edýändirler hem-de ölleýän perimetiriniň belli bir bölegi boýunça erkin üst bilen çäklenýändirler. Basyşsyz akymlaryň mysallary hökminde özi akýan suw ýa-da kanalizasiýa turbalaryndaky akymlary açyk akabalardaky akymlary, tebigy howa çalyşmak ulgamlarynyň akymlaryny görkezmek bolar.



3.3-nji surat

3.3-nji suratda açyk kanalda suwuklygyň durnukly we deňölçegli hereketi şekillendirilen. Bu mysalda akymy hereketlendirýän güýç suwuklygyň agramynyň hereketiň esasy s-s ugruna bolan proýeksýasynyň ululygydyr, ýagny

$$G_s = \rho g_s Q \tag{3.22}$$

bu ýerde

$g_s -$ agyrlyk güýjiniň tizlenmesiniň akymyň s-s hereket ugruna bolan proýeksýasy.

Çyzgydan görnüşi ýaly

$$g_s = g \sin \alpha \tag{3.23}$$

α –akymyň hereket ugrunyň ýa-da akabanyň eňňitlik burçy.

Akymyň eňňitlik burçuny öz gezeginde aşakdaky görnüşde aňladyp bolar, ýagny

$$\tan \alpha = \frac{z_1 - z_2}{l}; \tag{3.24}$$

bu ýerde

z_1, z_2 –akabanyň başlangyç we ahyrky nokatlarynyň geodeziki belgisi.

l – akabanyň (akymyň) uzynlygy.

Şeýlelikde basyşsyz ýa-da özi akýan akymlarda hereketlendiriji güýji häsýetlendirýän esasy görkeziji akabanyň eňňitligidir. Geodeziki nukdaý-nazardan bu görkeziji akabanyň eňňitlik burçunyň tangensidir.

$$i = \tan\alpha \qquad (3.25)$$

3. Çüwdürim akymlary

Çüwdirim akymlaryny hereketlendirýän güýç başky inersiýa F_i güýjidir. Bu güýji kesgitleýän we häsýetlendirýän esasy ululyk akymyň H dinamiki ýa-da tizlik naporydyr. Hakykatdan hem çüwdürim akymynyň dinamiki F_i güýji aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

$$F_i = \frac{M\vartheta^2}{2} = \frac{\rho Q\vartheta^2}{2} \qquad (3.26)$$

3.26 aaňlatmany akymyň udel energiýasyna getirsek, onda çüwdürim akymynyň H beýikliginiň (uzynlygynyň) ululygyny kesgitläris:

$$\frac{F_i}{\rho g Q} = H = \frac{\rho Q\vartheta^2}{2\rho g} \qquad (3.27)$$

ýa-da

$$H = \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (3.28)$$

3.4 suratda dik ugurda hereket edýän erkin çüwdürim akymy şekillendirilen. Bu akymyň islendik janly kesigi erkin üst bilen çäklenendir. Çüwdürim akymynyň umumy H beýikligi aşakdaky goşulyjylardan ybaratdyr, ýagny:

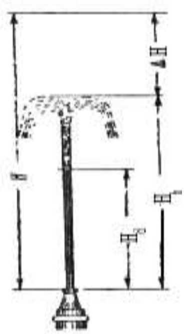
$$H = H_b + H_d + \Delta H \qquad (3.29)$$

bu ýerde

H_b –bütewi (jebis) çüwdürimiň beýikligi

H_d – çüwdürimiň dargaýan böleginiň beýikligi

ΔH – çüwdürimiň “ýitýän” böleginiň beýikligi.

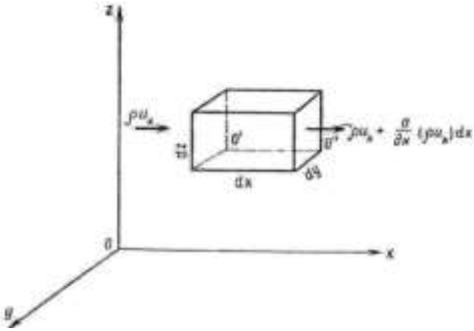


3.4-nji surat

Çüwdürim akymlarynyň mysallary hökmünde seýilgäh çüwdürimlerini (fontanlary), ýangyn söndüriji çüwdürimlerini hem-de ýörite çüwdürimler tehnikasynda ýer ýa-da dag işlerini ýerine ýetirmek üçin ulanylýan brandspoýt çüwdürimlerini görkezip bolar.

3.4 . Hereketiň üznüksizliginiň we akymyň mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesi

Durnukly hereket giňişliginde elementar parallelepiped (3.5-nji a surat üstünden akyp geçýän gysylmaýan $\rho = const$) suwuklygyň massasynyň üýtgemesine seredeliň. Durnukly hereketiň şertlerine (3.5) hem-de hereket giňişliginiň tutyşlygyna laýyklykda seredilýän elementar göwrümde (elementar çüwdürimde, akymda) suwuklygyň massasy wagtyň dowamynda hemişelik ululykda saklanmalydyr.



a.

b.

3.5-nji surat

Goýulan meseläni ters çaklama esasynda ýagny d_x, d_y, d_z ölçegli parallelepipediň 3 gapdalyndan girýän suwuklygyň massasy onuň garşylykly 3 gapdalyndan çykýan suwuklygyň massasyna deň däl diýip seredeliň. Onda, mysal üçin, OX ugur boýunça wagt birliginde parallelepipede çep gapdaldan girýän suwuklygyň tizligi $\vartheta_x$bolsa, onda onuň sag gapdalyndan çykýan suwuklygyň tizligi $\vartheta_x + \frac{\partial U_x}{\partial x}\partial x$ bolar. Şeýlelikde OX ugur boýunça elementar parallelepipediň massa mukdarynyň üýtgeýän ululygy aşakdaky görnüşde kesgitleniler:

$$dM_x = \rho\vartheta_z dydz - \rho\left(\vartheta_x + \frac{\partial\vartheta_x}{\partial x}dx\right)dydz = -\rho\frac{\partial\vartheta_x}{\partial x}dxdydz$$

OY we OZ ugurlar boýunça ýokardaky meňzeşlige esaslanyp degişlilikde elementar massa mukdarynyň tapawutlaryny kesgitläp bolar, ýagny

$$dM_y = -\rho \frac{\partial \vartheta_y}{\partial y} dx\, dy\, dz \quad (3.30)$$
$$dM_z = -\rho \frac{\partial \vartheta_z}{\partial z} dx\, dy\, dz$$

Hereket giňişliginiň tutyşlygynyň (üznüksizliginiň) şertine görä seredilýän parallelepipediň (çüwdürimiň, akymyň) massa mukdary hemişelikdir, onda

$$dM = dM_x + dM_y + dM_z = 0$$

Ýa-da

$$dM = -\rho\, dx\, dy\, dz \left(\frac{\partial \vartheta_x}{dx} + \frac{\partial \vartheta_y}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_z}{\partial z} \right) = 0$$

Ululyklar ρ, dx, dy, dz nola deň bolup bilmezler şonuň üçin

$$\frac{\partial \vartheta_x}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta_y}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_z}{\partial z} = 0 \quad (3.31)$$

Alynan (3.31) deňleme gysylmaýan suwuklygyň durnukly hereketiniň üznüksizliginiň differensiýal deňlemesidir. Bu deňleme 1755-nji ýylda genial rus alymy Leonardo Eýler tarapyndan alyndy.

Gidrawlika ylymynyň esasan akymlaryň hereketi we hasaplamalary bilen baglanyşykly meseleleriniň seredilmegine ýykgynlyk edýänligi sebäpli (3.31) deňlemäniň elementar çüwdürim hem-de suwuklyk (gaz) akymlary üçin ýazylysyny ýatlap geçeliň:

Akymyň elementar çüwdürimi üçin:

$$dq = const$$

ýa-da

$$U_I d\omega_I = U_2\, d\omega_2 = \cdots = const \qquad (3.32)$$

Normal şertlerde hereket edýän akymlar üçin:

$$Q = const \qquad (3.33)$$

ýa-da

$$\vartheta_1\omega_1 = \vartheta_2\omega_2 = \cdots = const$$

(3.3) deňleme akdyryjy ulgamlaryň gidrawliki hasaplamalarynda akymlaryň dürli kesiklerinde olaryň geometriki ölçegleriniň we tizlikleriniň özara gatnaşygyny kesgitlemek üçin giňden ulanylýar. Mysal üçin turbageçiriji ulgamlaryň akymlary üçin aşakdaky deňleme gatnaşygyny ýazyp bolar:

$$\vartheta_1\frac{\pi d_1^2}{4} = \vartheta_2\frac{\pi d_2^2}{4}$$

ýa-da

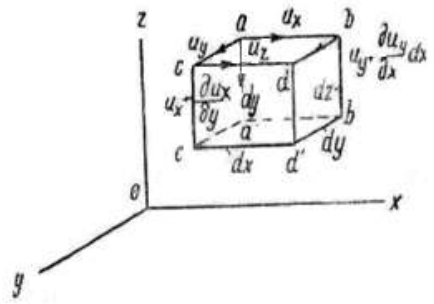
$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \qquad (3.34)$$

$$\vartheta_1 = \vartheta_2\frac{d_2^2}{d_1^2}$$

$$d_1 = d_2\sqrt{\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}}$$ we ş.m.

3.5. Elementar çüwdürimiň hereketiniň differensiýal deňlemesi. Bernulliniň integraly we deňlemesi

Durnukly we deňölçegli hereket edýän hyýaly elementar çüwdürimiň çäginde dx, dy, dz ölçegli parallelepiped şekilli (3.6-nji surat) elementar bölejigiň hereketiniňdeňagramlygyna seredeliň.



3.6-njy surat

Çyzgydan görnüşi ýaly OX okunyň ugruna parallelepipede çepden P, dy, dz we sagda $\left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx\right) dydz$ ululykly daşky basyş güýçleri $\rho\, dx\, dy\, dz\, F_x$ ululykly massa güýji hem-de $\rho\, dx\, dy\, dz\, \frac{dU_x}{dx}$ ululykly inersiýa güýji täsir edýär. Onda seredilýän ugurda güýçleriň we umuman hereketiň deňagramlygy aşakdaky deňleme görnüşinde ýazylar:

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

Alynan deňlemäni ýönekeýleşdirip, onuň ähli agzalaryny massa birligine ($\rho\, dx\, dy\, dz$) getirip hem-de güýçleriň deňagramlyk şertini OY we OZ ugurlar boýunça ýokarky meňzeşlikde ýazyp aşakdaky netijäni alyp bolar:

$$F_x - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{dU_k}{dt}$$
$$F_y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{dU_y}{dt} \qquad (3.35)$$
$$F_z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{dU_z}{dt}$$

(3.35) differensiýal deňlemeleri hyýaly suwuklyk çüwdüriminiň hereketiniň deňagramlygynyň deňlemesidir. Bu deňleme gidromehanikanyň esasy deňlemeleriniň biridir hem-de 1755-nji ýylda Leonardo Eýler tarapyndan alyndy. Eger-de 3.35 belgili deňlemeleri 2.5 belgili statiki deňagramlygyň deňlemeleri bilen deňeşdirsek onda D. Alamberiň garaýşynyň* takyk matematiki subutnamasydygy ýüze çykar.

**D. Alamberiň garaýşy hereket edýän hyýaly suwuklyk elementiniň esasy deňagramlyk şerti – täsir edýän güýçleriň degişli proýeksiýalarynyň algebraik jeminiň hereket edýän elementiň merkeziniň tizlenmesiniň degişli proýeksiýasyna deňligidir.*

3.35 deňlemeleri degişlilikde dx, dy, dz elementar ululyklara köpeldip olary dikligine agzalaryň fiziki manylary boýunça goşalyň:

$$F_x dx + F_y dy + F_z dz - \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial P}{\partial x}dx + \frac{\partial P}{\partial y}dy + \frac{\partial P}{\partial z}dz\right) = \frac{dU_x}{dt}dx + \frac{dU_y}{dt}dy + \frac{dU_z}{dt}dz; \qquad (3.36)$$

Soňky deňlemäni aşakdaky tertipde ýönekeýleşdireliň:

1. $(F_x dx + F_y dy + F_z dz)$ aňlatmany $F = f(x; y; z)$ fiziki manyny aňladýan F güýç funksiýasynyň doly differensiýaly diýip belläliň, ýagny

$$dF = F_x dx + F_y dy + F_z dz$$

2. Hereketiň durnuklylygyny nazara alyp 2.3 we 2.4 belgili deňlemelere esaslanyp aşakdaky aňlatmany kabul edýäris:

$$dP = \frac{\partial P}{\partial x}dx + \frac{\partial P}{\partial y}dy + \frac{\partial P}{\partial z}dz$$

3.Hereket edýän elementiň tizlikleriniň proýeksiýalarynyň $U_x = \frac{dx}{dt}$, $U_y = \frac{dy}{dt}$, $U_z = \frac{dz}{dt}$ deňliginden 3.36 deňlemäniň sag tarapyny aşakdaky görnüşde ýönekeýleşdirip bolar:

$$\frac{dU_x}{dt}dx = \frac{dU_x}{dt}U_x dt = U_x dU_x = d(\frac{U_x^2}{2})$$
$$\frac{dU_y}{dt}dy = \frac{dU_y}{dt}U_y dt = U_y dU_y = d(\frac{U_y^2}{2})$$
$$\frac{dU_z}{dt}dz = \frac{dU_z}{dt}U_z dt = U_z dU_z = d(\frac{U_z^2}{2})$$

Alynan aňlatmalary 3.36 belgili deňlemede ýerli ýerine goýup aşakdaky netijäni alarys:

$$dF - \frac{1}{\rho}dP = \frac{1}{2}d(U^2)$$

ýa-da

$$-dF + \frac{dP}{\rho} + \frac{d(U^2)}{2} = 0$$

integrirlenenden soň aşakdaky hemişelik netijeli jemi (integraly) alarys:

$$-F + \frac{P}{\rho} + \frac{U^2}{2} = const \qquad (3.37)$$

Eger-de hereket edýän suwuklyk çüwdürimine içki massa güýçlerinden diňe agyrlyk güýji täsir edýän bolsa, onda $dF = F_z dz = -gdz$ bolar (2.11 aňlatma), çünki $F_x = 0,\ F_y = 0.$ Onda 3.37 deňleme şeýle ýazylar:

$$gz + \frac{P}{\rho} + \frac{U^2}{2} = const$$

Soňky deňlemäniň agzalaryny g ululyga bölüp 3.37 deňlemäni aşakdaky görnüşe getireris:

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = const = H_g \qquad (3.38)$$

bu ýerde

H_g −elementar çüwdürimiň doly gidrawliki napory ýa-da basyş beýikligi.

3.38 deňlemäni hyýaly suwuklyk çüwdüriminiň yzygiderli alynan 1-1 we 2-2 kesikleri üçin olaryň gidrodinamiki naporlarynyň deňligi görnüşinde ýazsak, onda

$$H_{g1} = H_{g2}$$

ýa-da

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} \qquad (3.39)$$

Alynan 3.38 we 3.39 deňlemeler gidrawlika, suwuklyklaryň we gazlaryň mehanikasy dersleriniň (amaly gidromehanikanyň) esasy deňlemesidir. Olar degişlilikde hyýaly suwuklygyň elementar çüwdürimi üçin Daniýel Bernulliniň integraly we deňlemesi diýilip atlandyrylýar.

Bernulliniň deňlemesi ölçemler nazaryýeti we energetiki manysy boýunça derňelende onuň M.W.Lomonosowyň ýazyp beýan eden energiýanyň saklanmak kanunynyň ilkinji hem-de takyk subutnamasydygy aýdyň görünýär. Dogrudan hem Bernulliniň (3.39) deňlemesi hyýaly elementar çüwdürimiň hereket ugry boýunça onuň gidrodinamiki naporynyň ýa-da udel energiýasynyň üýtgemeýän hemişelik ululykdygyny görkezýär. Deňlemäniň agzalarynyň (z, $\frac{\rho}{\rho g}$, $\frac{U^2}{2g}$) üýtgemesi bolsa hereketiň dowamynda energiýanyň bir görnüşinden başga görnüşe geçýändigini aňladýar.

Hakyky suwuklyklaryň elementar çüwdürimleriniň hereketi hereketi üçin Bernulliniň deňlemesi çüwdürim 2-2 kesiginden başlap h_f ululykly naporyň ýa-da energiýanyň ýitgisini göz öňünde tutmalydyr. Bu ýitgi esasan içki sürtülme ýa-da şepbeşiklik garşylyk güýçlerini ýeňip geçmek üçin sarp edilýän energiýadyr. Onda Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşe geler:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} + h_{f1-2} \qquad (3.40)$$

bu ýerde

h_{f1-2} –hakyky elementar çüwdürimiň 1-1 we 2-2 kesikleriniň aralygynda ýitýän naporyň ýa-da udel energiýanyň ululygy.

3.6. Hakyky suwuklyk akymlary üçin Bernulliniň deňlemesi

Bernulliniň (3.38) integralyny we (3.40) deňlemesini hakyky (şepbeşikli) akymlarda ulanmak üçin aşakdaky şertleriň ýerine ýetirilmegi hökmanydyr:

1. Suwuklyk akymynyň hereketiniň görnüşleri durnukly, deňölçegli ýa-da durnukly deňölçegsiz hereketiň talaplaryna gabat gelmeli;
2. Akymyň ugruna alynan kesikler akymyň orta tizlik (ϑ) wektoryna normal bolmalydyr hem-de olarda 3.9 aňlatma ($\omega = \int_{\omega} d\omega$) berjaý edilmelidir;
3. Akymyň islendik kesiginde gidrostatikanyň esasy kanuny ýerine ýetirilmelidir ýagny kesigiň islendik nokadynda z+$\frac{P}{\rho g}$ ululykly gidrostatiki napor üýtgemeýän ululyk bolmaly;
4. Akymyň janly kesigi boýunça ýerli (U) tizlikleriň paýlanyşy, olaryň akymyň orta tizligi (ϑ) bilen gatnaşygy hem-de (3.22) aňlatmada getirilen akymyň kinetik energiýasynyň düzediş koeffisiýentiniň (α) ululygy belli bolmaly;
5. Akymy emele getirýän elementar çüwdürimleriň otnositel hereketiniň döredýän şepbeşiklik hem-de akym bilen daşky gurşawyň arasynda döreýän sürtülme garşylyklary ähli kesiklerde hasaba alynmalydyr.

Islendik mehaniki herekete mahsus bolşy ýaly, akymyň doly E energiýasy E_P potensial we E_k kinetik energiýalaryň jemine deňdir, ýagny

$$E = E_P + E_k \qquad (3.41)$$

Şol bir wagtda akymyň doly E energiýasyny ony emele getirýän elementar çüwdürimleriň dE doly energiýasynyň jemi görnüşinde kesgitläp bolar

$$E = \int_{\omega} dE \tag{3.42}$$

(3.38) aňlatmada getirilen Bernulliniň deňlemesiniň integralyny fiziki (energetiki) nukdaý-nazardan elementar çüwdürimiň de udel energiýasyny göz öňünde tutyp (3.42) deňligi aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$E = \int_{\omega} dE = \int_{\omega} de \ \rho g U \, d\omega = \int_{\omega} \left(z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g}\right) \rho g U \, d\omega \tag{3.43}$$

bu ýede $\rho g U \, d\omega$ (3.14) aňlatmada getirilişi ýaly, elementar çüwdürimiň agram mukdarydyr. (3.43) deňlemäniň sag tarapyny goşulyjylaryň fiziki manysyna laýyklykda iki bölege bölüp, olaryň degişlilikde akymyň doly potensial we kinetik energiýalarynyň ululyklaryna göz ýetirip bolar:

$$E = \int_{\omega} \left(z + \frac{P}{\rho g}\right) \rho g U \, d\omega + \int_{\omega} \frac{U^2}{2g} \rho g U \, d\omega \tag{3.44}$$

ýa-da

$$E = \left(z + \frac{P}{\rho g}\right) \rho g Q + \int_{\omega} \frac{\rho U^3}{2} d\omega \tag{3.45}$$

Alynan (3.45) netijäni (3.41) bilen deňeşdirip akymyň doly we udel potensial energiýasynyň ululyklary üçin degişlilikde aşakdaky aňlatmalary alyp bolar:

$$E_P = (z + \frac{P}{\rho g}) \rho g Q \tag{3.46}$$

$$e_P = \frac{E_P}{\rho g Q} = z + \frac{P}{\rho g} \tag{3.47}$$

Onda akymyň doly we udel kinetiki energiýasynyň ululyklary üçin aşakdaky aňlatmalar alynar:

$$E_k = \int_{\omega} \frac{\rho U^3}{2} d\omega \tag{3.48}$$

$$e_P = \frac{E_k}{\rho g Q} = \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} \qquad (3.49)$$

Soňky (3.49) aňlatmada $\vartheta = (\int_\omega d\omega U)/\omega,\ \alpha = U^2 d\omega/\vartheta^3\omega,$ $Q = \omega\vartheta = \int_\omega U\, d\omega.$ Şeýlelikde, akymyň udel energiýalarynyň jemi aşakdaky görnüşde aňladylar:

$$e = e_P + e_k = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} \qquad (350)$$

Eger-de 3.50 aňlatmanyň esasynda akymyň hereket ugruna yzygiderli alynan 1-1 we 2-2 kesikler üçin akymyň udel energiýasynyň jemini özara deňeşdirsek hem-de ýokarda 5-nji hökmany şertde getirilen energiýanyň ýitgisini hasaba alsak, onda suwuklygyň hakyky akymy üçin Bernulliniň deňlemesi alynar:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2^2}{2g} + h_{f1-2} \qquad (3.51)$$

Bernulliniň (3.51) belgili hakyky suwuklyk akymlary üçin alynan deňlemesi gidrogazodinamikanyň esasy deňlemesidir. Bu deňlemäni üznüksiz akymlaryň ýokarda agzalan ähli hereket görnüşleri üçin ulanyp bolar. Deňleme akymyň hereket ugruna alynan iki we ondan köp kesikler üçin erkin geçirilen gorizontal deňeşdirme tekizligine görä ýazylmaly. Kesiklerde akymyň pýezometriki (statiki) P basyşlary, orta ϑ tizlikleri hem-de akymyň hereket kadalary belli bolmaly. Akymyň hereket kadasynyň görnüşine laýyklykda akymyň ýerli U we orta ϑ tizliklerini (olaryň paýlanylyşyny, gatnaşygyny) kinetik energiýanyň düzediş α koeffisientiniň ululygyny takyk kesgitläp bolar. Ýokarda getirilen aňlatmalardan belli bolşy ýaly kinetik energiýanyň düzediş koeffisiýentiniň (α) fiziki manysy ýerli we orta tizlikleriň ululyklary boýunça kesgitlenilen akymyň kinetik energiýalarynyň gatnaşygydyr, ýagny $\alpha = \frac{E_{k.u}}{E_{k.\vartheta}}$. Bu gatnaşyk, öň bellenilişi ýaly elementar çüwdürimleriň ýerli tizlikleriniň paýlanylyşynyň deňsizligine baglydyr. Gidromehanika ylymynda α koeffisient korioliusyň koeffisiýenti diýilip atlandyrylýar. Onuň ululygy $\alpha = 1 - 2$ çäklerde üýtgeýär. Laminar kadaly akymlar üçin $\alpha = 2$, turbulent kadaly akymlar üçin $\alpha = 1.05 - 1.21$. Ýokary tizlikli ýeňil gysylýan suwuklyk (gaz, howa, suw bugy we ş.m.) akymlar üçin $\alpha \approx 1.0$.

Durnukly we deňölçegli akymlar üçin $\vartheta_1 = \vartheta_2$, onda Bernulliniň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + h_{f1-2} \qquad (3.52)$$

Bernulliniň deňlemesine girýän agzalar massa birligine getirilse, deňleme şeýle ýazylar:

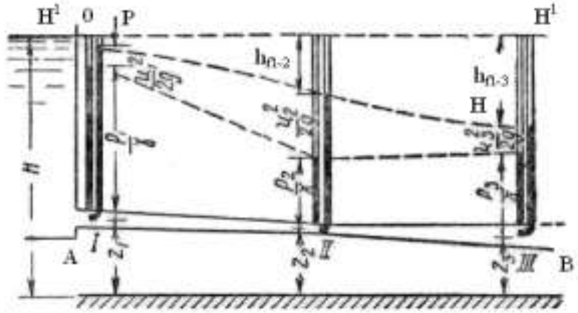
$$gz_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2} = gz_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2^2}{2} + \frac{\Delta P_{f1-2}}{\rho} \qquad (3.53)$$

bu ýerde

$\frac{\Delta P_{f1-2}}{\rho}$ – akymyň basyşynyň ýitýän ululygyny massa mukdarynyň birligine getirilen ululygy. (3.53) belgili deňleme akymyň ugruna dykyzlygy üýtgeýän ýa-da ýokary basyşly gaz akymlarynyň hasaplamalarynda ulanylýar.

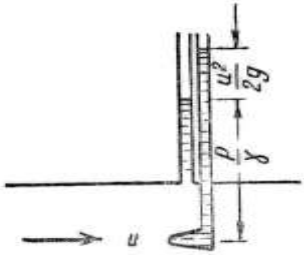
3.7. Bernulliniň deňlemesiniň manysyny düşündirmek

Bernulliniň deňlemesi onuň islendik agzasy, olaryň jemi ýa-da tapawudy geometriki (geodeziki), energetiki we gidrawliki nukdaý-nazardan takyk manylary aňladýarlar. Muňy görmek we ýazyp beýan etmek üçin, (3.51) deňlemäniň islendik agzasyny uzynlyk birliginde ölçäp bolýandygyndan hem-de olaryň degişlilikde dik aralyklardygyndan peýdalanalyň. 3.7-njy suratda dürli kesikli turba arkaly hemişelik naporly rezerwuardan suwuklygyň akyp çykyşy şekillendirilen.



3.7-nji surat

Turbadaky akymyň ugruna alynan 1-1, 2-2 we 3-3 kesiklerde basyşyň we tizligiň döredýän beýikliklerini ölçemek üçin aýnadan ýasalan dik turbadan peýdalanalyň. Bu ýönekeý ölçeg enjamlary turbadaky akymyň seredilýän kesiginde 3.8-nji suratda görkezilişi ýaly ýerleşdirilmeli.



$\gamma = \rho g$
U= ϑ

3.8-nji surat

1. Akymyň P statiki basyşynyň döredýän beýikligini ölçeýän Pýezometriň turbajygy (pýezomtriki turbajyk).
2. Akymyň ϑ tizliginiň döredýän beýikligini ölçeýän Pitonyň turbajygy (gidrometriki turbajyk).

Pýezometriki turbajyklar seredilýän kesiklerde akymyň $h_P = \frac{P}{\rho g}$ ululykly pýezometriki beýikliklerini görkezýärler. Bu beýiklikler akymyň s-s hereket okyndan pýezometriki turbajykdaky suwuklygyň beýiklik derejesine çenli geçirilen dik aralykdyr.

Pýezometriki we gidrometriki turbajyklardaky suwuklygyň beýiklik derejesiniň tapawudy $h_\vartheta = \frac{\alpha\vartheta^2}{2g}$ akymyň tizlik beýikligidiýilip atlandyrylýar.

Eger-de akymyň hereket ugruna kesiklerdäki pýezometriki beýiklikler özara birleşdirilse, onda emele gelen P-P çyzyk akymyň pýezometriki çyzygy diýilip atlandyrylýar. Çyzgydan görnüşi ýaly, durnukly deňölçegsiz hereketde akymyň pýezometriki çyzygy egri çyzykdyr. Akymyň islendik kesiginde P-P çyzygyň dik koordinaty $H_{st} = z + \frac{P}{\rho y}$ akymyň doly statiki beýikligini aňladar. Ýanaşyk kesiklerde statiki beýiklikleriň tapawudy $\Delta H_{st}\ we\ P - P$ çyzygyň $i_P = \frac{\Delta H_{st}}{l}$ eňňitligi položitel ýa-da otrisatel ululyklar bolup biler.

Akymyň hereket ugruna P_{ito} turbajyklardaky suwuklyk derejeleri birleşdirilse, onda hakyky suwuklyk akymynyň doly beýiklik H-H çyzygy alynar. Akymyň islendik kesiginde H-H çyzygyň dik koordinaty $H = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha\vartheta^2}{2g}$ akymyň doly beýikligidir. Ýanaşyk kesiklerde akymyň doly beýiklikleriniň tapawudy
$h_{f1-2} = H_1 + H_2$ ýa-da $h_{f2-3} = H_2 + H_3$ akymyň ýitýän beýikligi diýip atlandyrylýar. Ýitýän beýikligiň akymyň uzynlygyna bolan gatnaşygy $i = \frac{h_f}{l}$ akymyň gidrawliki eňňitligini emele getirýär. Akymyň gidrawliki eňňitligi diňe položitel ululykdyr.

Akymyň islendik kesiginde $H^I = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha\vartheta^2}{2g} + h_f$ ululyk dik beýiklik hyýaly suwuklyk akymynyň hereketiniň doly beýikligini aňladýar. Bu beýiklikleriň emele getirýän H^I-H^I çyzygy hyýaly suwuklyk akymynyň doly beýiklik çyzygydyr. Çyzgydan görnüşi ýaly h_f=H^I-H ululyk islendik kesikde akymyň ýitýän beýikligidir. 3.6-njy çyzgyda şekillendirilen akymyň mysalynda ýokarda getirilen düşünjeler Bernulliniň deňlemesiniň geometriki manysyny aňladýandyr. Hakykatdan hem dürli kesikli turbadaky akymyň mysalynda suwuklygyň hereketini doly beýan edýän Z, P, ϑ we h_f görkezijileriň we olaryň jeminiň geometriki arabaglanyşygyny aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1\vartheta_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2\vartheta_2^2}{2g} + h_{f1-2} = z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{\alpha_3\vartheta_3^2}{2g} + h_{f1-3} \quad (3.54)$$

(3.54) belgili deňleme bitewi we üznüksizlik hereketli hakyky akymda yzygiderli alynan 1-1, 2-2 we 3-3 kesikler üçin erkin alynan 0-0 gorizontal tekizlige görä Bernulliniň deňlemesidir. Bu deňlemäniň geometriki manysy jemlenen görnüşde ýene-de bir gezek agzap geçeliň: bütewi we üznüksiz hereketli hakyky suwuklyk akymynyň yzygiderli alynan islendik kesiginde geometriki (z), pýezometriki ($\frac{P}{\rho g}$), tizlik ($\frac{\alpha\vartheta^2}{2g}$) we ýitýän ($h_f$) beýiklikleriň jemi özara deňdirler hem-de üýtgemeýän hemişelik ululyklardyr. Bu deňlemäni şeýle-de aşakdaky gysgaldylan görnüşde ýazyp bolar:

$$H_1=H_2+h_{f1\text{-}2}=H_3=const \qquad (3.55)$$

bu ýerde
H_1, H_2, H_3 – degişli kesiklerde akymyň doly beýiklikleri.
$h_{f1\text{-}2}$, $h_{f1\text{-}3}$ – kesikleriň aralygynda akymyň ýitýän beýikligi.
H – suwuklyk akymynyň başlangyç beýikligi.

Bernulliniň deňlemesiniň energetiki manysy we ähmiýeti umumy görnüşde öňki temada ýazylyp geçildi. Ýokarda 3.6-njy suratda görkezilen akymyň mysalynda, Bernulliniň deňlemesiniň, onuň agzalarynyň we olaryň jemleriniň ýa-da tapawutlarynyň aňladýan energetiki manysyna jime-jik seredeliň.

Islendik kesikde akymyň Z, P, we ϑ gidrawliki görkezijileriniň berlen ululyklary boýunça Q mukdarly akymyň doly energiýasyny kesgitläliň:

Akymyň Z ululykly orun beýikliginiň döredýän potensial energiýasy.

$$E_{P.Z} = MgZ = \rho QgZ \qquad (3.56)$$

Akymyň P ululykly içki statiki basyşynyň döredýän potensial energiýasy:

$$E_{P.P} = PQ \qquad (3.57)$$

Akymyň ϑ ululykly hereket tizliginiň döredýän kinematiki energiýasy:

$$E_{k.\vartheta} = \frac{\alpha M \vartheta^2}{2} = \frac{\alpha \rho Q \vartheta^2}{2} \qquad (3.58)$$

Onda seredilýän kesikde akymyň doly energiýasy:

$$E = E_{P.Z} + E_{P.P} + E_{k.\vartheta} \qquad (3.59)$$

Ýa-da

$$E = \rho g Q Z + PQ + \frac{\alpha \rho Q \vartheta^2}{2} \qquad (3.60)$$

Akymyň udel energiýasynyň ululygy doly energiýanyň akymyň $\rho g Q$ agram mukdaryna bolan gatnaşygy görnüşinde kesgitleniler, ýagny:

$$e = \frac{E}{\rho g Q} = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} \qquad (3.61)$$

Şeýlelikde akymyň islendik kesiginde udel ýa-da has takyk aýdylanda, akymyň udel energiýalarynyň jemi we doly beýikligi birmeňzeş, ýöne dürli manyly ululyklardyr. Onda ýokarda getirilen (3.54) belgili Bernulliniň deňlemesini akymyň energetiki balansynyň deňlemesi diýip atlandyryp bolar hem-de gysgaldylan görnüşde şeýle ýazylar:

$$e_1 = e_2 + \Delta e_{f1-2} = e_3 + \Delta e_{f1-3} = e = const \qquad (3.62)$$

bu ýerde

e_1, e_2, e_3 $-$1-1, 2-2, 3-3 kesiklerinde akymyň udel energiýasynyň jemi.

e $-$ başlangyç kesikde akymyň udel energiýasy.

Δe_{f1-2}, Δe_{f1-3}, seredilýän kesikleriň aralygynda akymyň ýitýän udel energiýasy ýa-da akymyň ýitýän beýikliginiň onuň agram mukdaryna getirilen ululygy:

$$\Delta e_{f1-2} = \frac{h_{f1-2}}{\rho g Q}; \qquad \Delta e_{f1-3} = \frac{h_{f1-3}}{\rho g Q}$$

Durnukly (deňölçegli, durnuksyz deňölçegli) hakyky suwuklyk akymlary üçin Bernulliniň deňlemesiniň, onuň agzalarynyň we olaryň jeminiň energetiki manylaryny agzap geçeliň:

Z – akymyň ýerleşiş ornunyň udel potensial energiýasy;

$\frac{P}{\rho g} -$ akymyň içki statiki basyşynyň udel potensial energiýasy;

$Z + \frac{P}{\rho g} -$ akymyň udel potensial energiýalarynyň jemi;

P – P çyzyk – akymyň udel potensial energiýalarynyň jeminiň çyzygy;

$\frac{\alpha \vartheta^2}{2g} -$akymyň udel kinetik energiýasy;

$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} -$ akymyň udel energiýalarynyň jemi;

H – H çyzygy – hakyky akymyň udel energiýalarynyň jeminiň çyzygy;

$i -$ akymyň udel energiýalarynyň jeminiň gradiýenti, $i_{1-2} = \frac{(e_1 - e_2)}{e_{1-2}}$

$\Delta e -$ akymyň udel energiýasynyň sürtülme garşylyklara sarp edilýän (ýitýän) bölegi.

$H^I - H^I$ çyzygy – hyýaly akymyň udel energiýasynyň jeminiň çyzygy.

Şeýlelikde, hakyky üznüksiz durnukly akymyň hereket ugruna onuň (Z) orun udel potensial energiýasynyň $(\frac{P}{\rho g})$ basyş udel potensial energiýasynyň $(\frac{\alpha \vartheta^2}{2g})$ tizlik udel kinetik energiýasynyň hem-de (h_f)ýitýän udel energiýasynyň jemi üýtgemeýän hemişelik ululykdyr. Bernulliniň (3.54) belgili deňlemesiniň energetiki manysyňyň ýene-de bir artykmaçlygy – hereketiň dowamynda akymyň udel energiýalarynyň jeminiň saklanmak (hemişelik) şertinde olaryň görnüşleriniň yzygiderli üýtgemegidir. Bu hadysany 3.6-njy surat hem-de köp sanly mysallar doly subut edýärler.

Bernulliniň deňlemesiniň, onuň agzalarynyň, olaryň jeminiň we tapawudynyň suwuklyk (gaz) akymlarynyň gidrawliki häsiýetnamalary derejesinde kabul edilýän takyk manylary bardyr. Bernulliniň deňlemesiniň esasy gidrawliki manysy ýokarda jikme-jik seredilen akymyň degişli beýiklikleriniň döredýän naporlaryny ýa-da basyşlaryny aňladýandyr. Onda (3.54) belgili deňleme, onuň agzalary 3.6-njy suratda şekillendirilen akymyň mysalynda, gidrawliki nukdaý-nazardan aşakdaky manylary aňladýarlar.

Z $(\rho g Z)$ – akymyň geometriki (geodeziki) napory ýa-da orun basyşy;

$\frac{P}{\rho g}$ (P) – akymyň pýezometriki napory ýa-da statiki basyşy;

$Z+\frac{P}{\rho g}$ $(\rho g Z + P)$ – akymyň doly gidrostatiki napory ýa-da doly statiki basyşy;

P-P çyzyk – akymyň pýezometriki çyzygy ýa-da doly gidrosttatiki basyşyň çyzygy;

$\frac{\alpha \vartheta^2}{2g}$ $(\rho \frac{\alpha \vartheta^2}{2g})$ – akymyň tizlik napory ýa-da dinamiki basyşy.

$Z+\frac{P}{\rho g}+\frac{\alpha \vartheta^2}{2g}$ $(\rho g Z + P + \rho \frac{\alpha \vartheta^2}{2g})$ - akymyň doly napory ýa-da doly gidrodinamiki basyşy.

H – H çyzyk – hakyky akymyň doly naporynyň çyzygy ýa-da doly gidrostatiki basyşyň çyzygy.

Z – durnukly we deňölçegli hereketli akymlarda $\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta_3 = \cdots = \vartheta$ sebäbi

P-P//H-H_1 ýagny, akymyň pýezometrik we doly napor çyzyklary özara paralleldirler.

$h_f(\rho g h_f, \Delta P_f)$ - akymyň ýitýän napory ýa-da ýitýän basyşy.

$i = \frac{h_f}{e} (\frac{\Delta P_f}{e})$ - akymyň gidrawliki eňňitligi ýa-da ýitýän naporyň (basyşy) udel ululygy.
H^1-H^1çyzyk – hyýaly akymyň doly naporynyň çyzygy.

Şeýlelikde, durnukly (deňölçegli, durnuksyz deňölçegli) hakyky suwuklyk akymlary üçin Bernulliniň deňlemesi, akymyň islendik kesiginde doly naporyň (basyşynyň) ululygyny kesgitleýär. Şeýlilikde bu deňleme akymyň hereket ugruna onuň doly naporynyň (basyşynyň) azalýandygyny, ýitýän naporyň (basyşyň) ulalýandygyny hem-de doly naporyň düzümini emele getirýän orun statiki we dinamiki naporlaryň ululyklarynyň özara baglanyşykda üýtgeýändigini görkezýär.

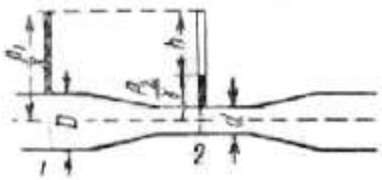
Netijede Bernulliniň deňlemesiniň geometriki, energetiki we gidrawliki manylaryny deňeşdirip, suwuklyk (gaz) akymlarynyň doly beýikliginiň, udel energiýalarynyň jeminiň, gidrodinamiki naporynyň we doly basyşynyň birmeňzeş, özara deň, ýöne dürli manyly ululyklardygy düşündirildi.

3.8. Bernulliniň deňlemesiniň ulanylyşynyň mysallary

Öň belleýşimiz ýaly, Bernulliniň deňlemesi gidrogazodinamikanyň esasy deňlemesidir. Bu deňlemäniň manysyny we ähmiýetini kesgitleýän esasy görkeziji – akymyň hereket ugruna onyň basyşynyň we tizliginiň arabaglanyşygyny takyk kesgitlemekdir. Gidrogazodinamikanyň bu ýörelgesi suwuklyk we gaz akymlary bilen baglanyşykly köp görnüşli praktiki meselelerde we tehniki çözgütlerde giňden ulanylýar. Olaryň käbirine seredip geçeliň.

Wenturiniň mukdar ölçeýji turbajygy.

Wenturiniň turbajygy ygtybarly mukdar ölçeýji enjamynyň işleýiş we ulanyş prinspini kesgitleýän ýönekeý gurluşdyr. 3.9-nji suratda Wenturiniň mukdar ölçeýji turbajygy şekillendirilen.



3.9-njy surat

Bu ölçeg turbajygy uly D diametrli P_1 basyşly akyma konus şekilli turbajyklar arkaly birleşdirilen kiçi d diametrli gysga turbajykdan ybaratdyr. Ölçeg turbajygynyň 1-1 we 2-2 kesiklerinde pýezometriki turbajyklar Pýezometrler esasy turbanyň P basyş we ϑ tizlikli normal kesigine hem-de kiçi turbajygyň P_2 basyşly we ϑ_2 tizlikli gysylan kesigine birleşdirýärler. Şeýle-de basyşly suwuklyk ýa-da gaz akymlarynyň mukdaryny hemişelik kadada seredilýän prinsipde ölçemek we ýazga geçirmek üçin pýezometrleriň deregine U – şekilli differensiýal manometrlerini, d diametrli gysgajyk turbajygyň deregine ölçeg şaýbalaryny ulanýan halkara ölçeg gurluşlary giň ýaýrandyr.

Wenturiniň pýezometriki ölçeg turbajygynyňişleýiş prinsipi 1-1 we 2-2 kesikler üçin 0-0 gorizontal deňeşdirme tekizligine görä ýazylan Bernulliniň deňlemesindeň gelip çykýan h=f(Q) baglanyşyga esaslanandyr.

Goýulan meseläniň takyk çözgüt netijesini almak maksady bilen, pýezometriki ölçeg turbajygynyň aşakdaky ululyklaryny kabul edeliň:

D=0.20 m, d=0.10m, Z_1=Z_2=0, $\frac{P_1}{\rho g} = 1.0$m, $\frac{P_2}{\rho g} = 0.50$m. suw geçiriji D diametrli turbadaky akymyň Q mukdaryny kesgitlemeli.

Umumy görnüşde Bernulliniň deňlemesi (3.51) belgili deňlemäni gaýtalaýar, ýagny:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2^2}{2g} + h_{f1-2} \qquad (3.63)$$

Meseläni goýulan şertine laýyklykda Z_1=Z_2=0, 1-1 we 2-2 kesikleriň e_{1-2} aralygynyň kiçiligi hem-de kiçi d diametrli turbajygynyň çatylyşynyň ujypsyz ýitgililigi sebäpli $h_{f1-2} \approx 0$ Akymyň kinetik energiýasynyň koeffisiýentini $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 1.1$ kabul edip, Bernulliniň deňlemesini aşakdaky görnüşe getirýäris:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2^2}{2g}$$

ýa-da

$$\frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} = \frac{\alpha}{2g}(\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2)$$

3.8-nji suratdan görnüşi ýaly

$$\frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} = h$$

1-1 we 2-2 kesiklerde akymyň mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesinden ϑ_1 we ϑ_2 tizlikleri kesgitleýäris:

$$\omega_1 \vartheta_1 = \omega_2 \vartheta_2$$

$$\omega_1 = \frac{\pi D^2}{4}, \qquad \omega_2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \ \acute{y}a - da \ \frac{D^2}{d^2} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$$

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 \frac{D^2}{d^2}$$

Onda Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşe geler:

$$h = \frac{\alpha \vartheta_1^2}{2g}(\frac{D^2}{d^2} - 1)$$

Soňky deňlemeden ϑ_1 tizligiň ululygy kesgitleniler:

$$\vartheta_1 = \sqrt{\frac{2gh}{\alpha(\frac{D^4}{d^4} - 1)}}$$

Onda akymyň Q mukdar ululygy üçin aşakdaky hasaplama formulasy alynar:

$$Q = \omega_1 \vartheta_1 = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{\alpha(\frac{D^4}{d^4} - 1)}} \qquad (3.64)$$

(3.64) belgili formula Wenturiniň pýezometriki suwölçeýjidäki akymyň mukdarynyň nazary ululygydyr.

Hakyky ölçeg turbajygyndaky gidrawliki ýitgileri hasaba almak üçin $\mu = 0.98 - 0.985$ ululykly ölçeg turbajyklarynyň mukdar koeffisiýenti ulanylýar. Onda akymyň hakyky mukdarynyň ululygyny kesgitleýän formula aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$Q = \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{\alpha(\frac{D^4}{d^4} - 1)}} \tag{3.65}$$

ýa-da

$$Q = \mu K \sqrt{h} \tag{3.66}$$

bu ýede K – pýezometriki mukdarölçeýjiniň hemişeligi

$$K = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{\alpha(\frac{D^4}{d^4} - 1)}} \tag{3.67}$$

Ýokarda kabul edilen san ululyklaryny 3.58 we 3.59 aňlatmalarda ýerine goýup alýarys:

$$K = \frac{3.14 \cdot 0.2^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81}{1.1(\frac{0.2^4}{0.14^4} - 1)}} = 0.03424 \frac{m^2}{sek}$$

$$Q = \mu K \sqrt{h} = 0.985 \cdot 0.03424 \cdot \sqrt{0.5} = 0.0238 \frac{m^3}{sek}$$

Jogaby:

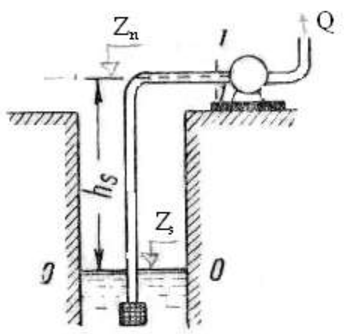
$$Q = 0.0238 \frac{m^3}{sek} = 23.8 \frac{dm^3}{sek}$$

Sorujy nasosyň okunyň geodeziki belgisini kesgitlemek

Guýulardan, howuzlardan we açyk akabalarda nasoslar arkaly suwy sorup almak tilsimatynda nasos agregatynyň okunyň geodeziki beýikligini takyk kesgitlemeklik esasy meseleleriň biridir. Bu mesele sorulmaly suwyň derejesiniň geodeziki beýikligine, nasosyn tehniki-tilsimat görkezijilerine hem-de howanyň basyşyna laýyklykda çözülmelidir.

3.9-njy suratda guýydan suwy sorup almak üçin niýetlenilen nasos desgasynyň shemasy şekillendirilen.

<u>Meselede berilen we kabul edilen ululyklar:</u> nasosyň öndürijiligi $Q = 30\frac{dm^3}{sek}$, sorujy turbanyň diametri d=150mm, nasosyn döredýän wakuumetrik (sorujy) napory $H_\vartheta = 6.8$m sorujy turbadaky naporyň ýitgisi $h_f = 1.0$m, guýudaky suwyň geodeziki belgisi Z_s=200.5m. nasosyň oturdylmaly h_s beýiklik derejesini hem-de onuň okunyň Z_n geodeziki beýikligini kesgitlemeli.



3.10-njy surat

3.10-njy suratdan görnüşi ýaly, nasosyň sorujy ulgamynda alynan 0-0 (sorulýan suwyň derejesi) we 1-1 (sorujy turbanyň nasosa çatylan tikini) kesikler üçin 0-0 gorizontal tekizlige görä Bernulliniň deňlemesini ýazýarys:

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{\alpha_0 \vartheta_0^2}{2g} = h_s + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} + h_{f0-1} \qquad (3.68)$$

Deňlemäni meselede kesgitlenilmeli h_s beýiklige görä ýazalyň we çözeliň, onda

$$h_s = \frac{P_a - P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_0 \vartheta_0^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} - h_{f0-1} \qquad (3.69)$$

bu ýerde

$\frac{P_a - P_1}{\rho g} = H_\vartheta -$ nasosyň wakuummetrik ýa-da sorujy napory, $H_\vartheta =$ 6.8m. Bu görkezijini nasosyň pasportyndan alynýarys.

$\frac{\alpha_0 \vartheta_0^2}{2g} -$ guýydan akymyň tizlik napory. Guýydan suwyň ϑ_0 tizligiň we onuň döredýän naporynyň kiçi san ululykdygy sebäpli $\frac{\alpha_0 \vartheta_0^2}{2g} \approx 0$ kabul edýäris. Onda Bernulliniň deňlemesi şeýle ýazylar:

$$h_s = H_\vartheta - \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} - h_{f0-1} \qquad (3.70)$$

(3.70) belgili deňleme goýulan meseläniň takyk çözgüdini kesgitleýän deňlemedir. Bu deňleme gidrawliki tilsimat derejesinde şeýle okalýar: sorujy nasoslaryň döredýän wakuumetrik napory (H_ϑ) guýudaky suwyň h_s beýiklige galdyrmaklyga sorujy turbada ϑ_1 tizlikli akym döretmeklige hem-de sorujy ulgamyň gidrawliki ýitgilerini ýeňip geçmeklige sarp edilýär.

Goýulan meseläniň çözgüdiniň dowamynda, sorujy turbany akymyň ϑ_1 tizligini hem-de onuň döredýän tizlik naporyny kesgitleýäris, ýagny

$$\vartheta_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0.03}{3.14 \cdot 0.15^2} = 1.7\ \frac{m}{sek}$$

$$\frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} = \frac{1.1 \cdot 1.7^2}{2 \cdot 9.81} = 0.16m$$

Kesgitlenilen we kabul edilen ululyklary (3.70) belgili deňlemede ýerine goýup h_s beýikligi kesgitleýäris:

$$h_s = 6.8 - 0.16 - 1.0 = 5.64\ m$$

Netijede, nasosyň okunyň geodeziki beýikligi aşakdaky görnüşde kesgitleniler:

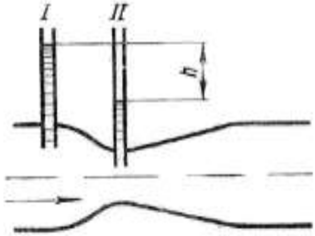
$$Z_n = Z_s + h_s = 200.50 + 5.64 = 206.14m$$

Bellik: Takyk taslama çözgütlerinde aşakdaky goşmaça anyklamalar ýerine ýetirilýär;

1. Berlen tebigy we geodeziki şertlerde howanyň (P_a) basyşynyň ululygy takyk anyklanylýar.
2. Nasosyn H_ϑ wakuumetrik (sorujy) naporynyň ululygy ýerli şertlere laýyklykda (sorulýan suwyň temperaturasy we doýan bugyň basyşy) goşmaça anyklanylýar.
3. Sorujy ulgamyň gidrawliki garşylyklary we ýitgileri hakyky şertlere laýyklykda takyk kesgitlenilýär.

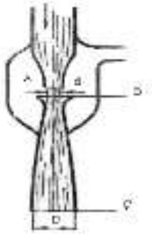
3.9. Meseleler we mysallar

1. diametri d=240mm, akymyň orta tizligi $\vartheta = 1.1\frac{m}{sek}$ bolan geçiriji turbadaky nebitiň gije-gündiz agram mukdaryny kesgitlemeli. Akdyrylýan nebitiň göwrüm agyrlygy $\gamma = 0.870\frac{kG}{dm^3}$.
2. Mukdary Q=290$\frac{dm^3}{min}$ we orta tizligi $\vartheta = 1.0\frac{m}{sek}$ bolan suw geçiriji turbanyň diametrini kesgitlemeli.
3. Açyk kesigi gönüburçlyk şekilli kanalyň kabul edilen ω janly kesigi üçin onuň R gidrawliki radiusynyň minimal ululygyny üpjün edýän $\frac{b}{h}$ (b-kanalyň ini, h-kanalyň çuňlugy) gatnaşygy kesgitlemeli.
4. Diametri D=250mm bolan suw geçiriji turba d=12sm diametrli daralýan bölejik çatylan (3.11-njy surat)



3.11-nji surat

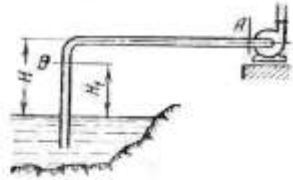
D diametrli esasy turbada akymyň tizligi $\vartheta = 0.70\frac{m}{sek}$, gidrawliki ýitgileri hasaba almazlyk şerti bilen $(h_f \approx 0)$ pýezometriki beýiklikleriň h tapawudyny kesgitlemeli.
5. 3.12-nji suratda şekillendirilen suw çüwdürimli nasosyň A sorujy giňişliginde döreýän H_ϑ wakuumetrik naporyň ululygyny simap beýikliginde kesgitlemeli.



3.12-nji surat

Nasosyň işçi akymynyň turbasynyň diametri D=18mm, soplosynyň diametri d=6mm, işçi suw akymynyň mukdary Q=12$\frac{dm^3}{min}$, garşylyklary, ýitgileri A we B kesikleriň aralygyny hasaba almaly däl ($h_f \approx 0$).

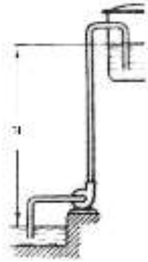
6. Nasosyň sorujy turbasynyň (3.13) B nokadyndaky wakuumetrik H_B basyş beýikligini we sorujy turbadaky naporyň h_f ýitgisini kesgitlemeli.



3.13-nji surat

Sorujy turbanyň A kesiginde wakuumetrik basyş beýikligi H_n=316mm simap sütüni, turbanyň uzynlygy l=20.0m A we B kesikleriň sorulýan suwyň derejesinden beýikligi H=4.1m we H_1=3.0m. Turbadaky akymyň tizlik naporynyň ululygyny hasaba almaly däl.

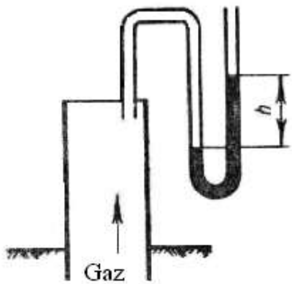
7. Nasos açyk howuzdan mukdary Q=12$\frac{m^3}{sag}$ bolan suwy H=80m beýiklikde ýerleşen içi $P_2 = 3.0\frac{kG}{sm^2}$ artykmaç basyşly ýapyk rezerwuardan akdyrýar (3.14-nji surat).



3.14-nji surat

Suw akdyryjy ulgamda naporyň umumy ýitgisi $h_f = 4.0$m. Turbalaryndaky tizlik naporynyň ululyklaryny hasaba almazdan, ýokarda getirilen şertleri üpjün edýän nasosyň kuwwatyny kesgitlemeli. Nasosyň agregatynyň P.T.K $\eta = 0.7$

8. Gaz guýusynyň debitini kesgitlemek üçin, onuň ujynda U şekilli suwly differensial manometriň kömegi bilen gazyň tizlik naporynyň ululygyny kesgitleýärler (3.15-nji surat).



3.15-nji surat

Difmanometriň h=12mm basyşy görkezýän kadasynda guýudan çykýan gazyň tizligini we agram mukdaryny kesgitlemeli. Guýynyň içki diametri d=300mm, gazyň agram dykyzlygy $\rho = 0.760\frac{kg}{m^3}$, howanyň basyşy P_a=742mm simap sütüni.

3.10. Gidrodinamiki meňzeşlik, masyştablary we kriteriýalary

Meňzeşlik we modelirlemek

Çylşyrymly gidrawliki hadysalary we gurulmaly aýratyn möhüm desgalary öwrenmegiň ylmy nukdaý-nazardan ygtybarly esaslandyrylan usulýetidir. Onuň esasy maksady ilkinji gidrawliki hasaplamalaryň, ylmy tejribe derňewleriniň hem-de hakyky hakyky praktiki netijeleriň bütewiligini gazanmakdyr. Modellerde geçirilýän gidrawliki tejribe derňewleri degişli düzediş koeffisiýentlerini, täze emperiki hasplama formulalaryny we gerekli grafiki baglanyşyklary almaklyga mümkinçilik döredýärler. Olaryň netijesinde ýerine ýetirilen hasaplama-taslama çözgütleri gurulýan çylşyrymly desgalaryň we olarda bolup geçýän gidroaerodinamiki hadysalaryň meňzeşligini hem-de degişli derejede esaslandyrylmasyny üpjün edýärler.

Asyl nusganyň we onuň modeliniň, esasanda olarda bolup geçýän prosesleriň meňzeşligi gidromehaniki meňzeşlik we ylmy modelirlemek nazaryýetine esaslanmalydyr. Bu ylmy taglymatyň esasy şerti nusganyň we onuň modeliniň geometriki meňzeşligindeň daşary, olaryň degişli ugurlarynda we nokatlarynda tizlikleriň, dykyzlyklaryň we güýçleriň gatnaşyklary birmeňzeş bolmalydyr. Doly gidromehaniki meňzeşlik diňe geometriki kinematiki we dinamiki meňzeşlikleriň netijesidir.

Geometriki meňzeşlik nusganyň we modeliň degişli ölçegleriniň (e_n, e_m) meýdanlarynyň (ω_n, ω_m) we göwrümleriniň (V_n, V_m) gatnaşyklarynyň modellirlemegiň birmeňzeş M_e geometriki masyştabyň ululygy bilen aňladylmagyny talap edýär, ýagny:

$$\frac{e_n}{e_m} = M_e$$

$$\frac{\omega_n}{\omega_m} = M_e^2 \qquad (3.71)$$

$$\frac{V_n}{V_m} = M_e^3$$

<u>Kinematiki meňzeşlik</u> kabul edilen geometriki masyştab boýunça modelirlinen akymyň dowamlyk t_n we t_m wagtlarynyň, ϑ_n we ϑ_m tizlikleriniň hem-de a_n we a_m tizlenmeleriniň gatnaşyklaryny degişli kinematiki masyştablaryň ululygy boýunça kesgitlenilmegini talap edýär, ýagny:

$$\frac{t_n}{t_m} = M_t$$

$$\frac{\vartheta_n}{\vartheta_m} = M_\vartheta \tag{3.72}$$

$$\frac{a_n}{a_m} = M_a$$

Dinamiki meňzeşlik ýokarda getirilen geometriki we kinematiki meňzeş akymlara (desgalara, maşynlara) täsir edýän inersiýa basyş, agyrlyk we şepbeşiklik güýçleriniň gatnaşyklarynyň birmeňzeş M_F ululygy dinamiki masyştab boýunça kesgitlenilmegini talap edýär, ýagny:

$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{P_n}{P_m} = \frac{G_n}{G_m} = \frac{T_n}{T_m} = M_F = idem \tag{3.73}$$

Geometriki, kinematiki we dinamiki masyştablar gidrodinamiki meňzeşligiň we modellirlemegiň hökmany we başlangyç şertleridir. Köplenç ýagdaýlarda akymyň görnüşlerine we hereket şertlerine laýyklykda olara täsir edýän güýçleriň kesgitleýji görnüşi ýüze çykarylýar hem-de bu güýji modelirlemegiň şerti <u>meňzeşlik kriteriýasy</u> diýilip atlandyrylýar.

<u>Nýutonyň kriteriýasy</u> N_e esasan akymlary hereketlendiriji inersiýa güýçlerini modelirlemegiň şertidir. Inersiýa güýjiniň akymyň m massasynyň we a tizlenmesiniň köpeltmek hasylydygyndan alýarys:

$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{m_n a_n}{m_m a_m} = \frac{\rho_n e_n^2 \vartheta_n^2}{\rho_m e_m^2 \vartheta_m^2} \quad (3.74)$$

(3.74) belgili aňlatma gidrodinamiki meňzeşligiň umumy kanuny diýilip atlandyrylýar. Bu kanun 1686-njy ýylda genial iňlis alymy Yssak Nýuton tarapyndan açyldy hem-de gidromehanika ylmyna N_e Nýutonyň kriteriýasy ady bilen girizildi. Bu kriteriýa umumy we uniwersal häsiýete eýedir hem-de akymlarda döreýän beýleki güýçleri modelirlemekde deň derejede ulanyp biliner.

Frudyň kriteriýasy Fr agyrlyk güýji agdyklyk edýän akymlary modelirlemekde ulanylýan esasy meňzeşlik şertidir. Ol akymlaryň inersiýa we agyrlyk güýçleriniň gatnaşygyndan (3.73) alynýar, ýagny:

$$\frac{F_n}{G_n} = \frac{F_m}{G_m} = F_r$$

Ýa-da

$$\frac{\rho e_n^2 \vartheta_n^2}{\rho g e_n^3} = \frac{\rho e_m^2 \vartheta_m^2}{\rho g e_m^3} = F_r$$

$$\frac{\vartheta_n^2}{g e_n} = \frac{\vartheta_m^2}{g e_m} = F_r \quad (3.75)$$

Gidromehanikada Frudyň kriteriýasy grawitasyýa meňzeşliginiň kanuny diýilip atlandyrylýar. Bu kriteri gidrotehniki desgalary deşiklerden we jaýryklardan akýan akymlary hem-de kanallary modelirlemekde esasy meňzeşlik şerti hökmünde ulanylýar.

Reýnoldsyň kriteriýasy Re akdyrylýan suwuklygyň şepbeşikliginiň täsiri netijesinde döreýän sürtülme garşylyk güýçleriniň agdyklyk edýän akymlarynda esasy meňzeşlik kriteriýadyr. Ol inersiýa we sürtülme güýçleriniň gatnaşygyny aňladýan ölçegsiz sandyr, ýagny:

$$\frac{F_n}{T_n} = \frac{F_m}{T_m} = Re$$

Ýa-da

$$\frac{\rho_n e_n^2 \vartheta_n^2}{\mu_n e_n \vartheta_n} = \frac{\rho_m e_m^2 \vartheta_m^2}{\mu_m e_m \vartheta_m} = Re$$

$$\frac{\vartheta_n e_n}{\gamma_n} = \frac{\vartheta_m e_m}{\gamma_m} = Re \qquad (3.76)$$

Gidromehanikada Reýnoldsyň kriteriýasy akymlaryň hereket kadalaryny kesgitleýän hem-de şepbeşiklik, sürtülme güýçleriniň meňzeşlik kanuny diýilip atlandyrylýan kriteriýadyr. Ol akymlary, akabalary, geçiriji turbalar ulgamlaryny modelirlemekde hem-de olaryň analitiki hasaplamalaryny ýerine ýetirmekde kesgitleýji meňzeşlik şertidir.

Eýleriň kriteriýasy E_u basyş güýji agdyklyk edýän akymlarda we desgalarda modelirleme hem-de hasaplama işlerini ýerine ýetirmekde ulanylýan esasy kriteriýadyr. Onyň fiziki manysy akymlarda hereket edýän basyş we inersiýa güýçleriniň gatnaşygyndan gelip çykýar hem-de aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$\frac{P}{F} = \frac{Pl^2}{\rho l^2 \vartheta^2} = \frac{P}{\rho \vartheta^2} = E_u \qquad (3.77)$$

Diýmek, meňzeşlik şertleri doly berjaý edilende nusganyň we modeliňEýler kriteriýalary özara deň ululyklar bolmalydyr, ýagny:

$$E_{un} = E_{um}$$

Ýa-da

$$\frac{P_n}{\rho_n \vartheta_n^2} = \frac{P_m}{\rho_m \vartheta_m^2} = E_u \qquad (3.78)$$

Eýleriň kriteriýasy suwuklyk we gaz akymlaryny modelirlemekden gidrodinamiki basyş güýjiniň meňzeşlik kanuny diýilip atlandyrylýar. Bu kriterial ululyk ýokary basyşly nebit we gaz geçirijilerini, nasos we kompressor stansiýalaryny hasaplamakda we modelirlemekde giňden ulanylýan kriteridir.

Has çylşyrymly, köp we köp ölçegli gidrawliki hadysalary we prosesleri hasaplamakda we modelirlemekde ýokarda getirilen meňzeşlik masyştablaryhem-de kriterialy kanagatlanarly netijeleri almaklyga mümkinçilik döretmese, onda gidromehanika ylmynda giňden ulanylýan ölçegler analiziniň esasynda kriterial deňlemeleri düzülýärler hem-de degişli fiziki ululyklar analitiki hasaplamalar ýa-da tejribe derňewleri arkaly takyk kesgitlenilýärler. Mysal üçin, akyma inersiýa, sürtülme we grawitasiýa güýçleri deň derejede täsir edýän bolsalar, onda kriterial deňleme aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner:

$$N_u = f(Re; Fr) \tag{3.79}$$

4. Gidrawliki garşylyklar we naporyň ýitgileri

4.1. Gidrawliki ýitgileriň we garşylyklaryň we ýitgileriň görnüşleri

Gidrawliki garşylyklar we naporyň ýitgileri gidrawlikanyň (amaly gidromehanikanyň) esasy wajyp meselesidir. Onuň maksady gidrawliki akdyryjy ulgamlarda sürtülme garşylyklarynyň we napor ýitgileriniň döreýiş mehanizmlerini, görnüşlerini hem-de kesgitleniş usullaryny doly öwrenmekdir.

Umuman, islendik suwuklyk ýa-da gaz akymynda sürtülme garşylyk güýçleriniň döreýiş mehanizmini aşakdaky nazaryýet boýunça düşündirip bolar:

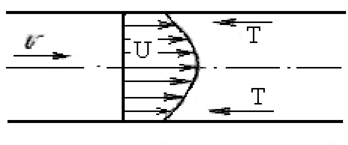
Birinjiden, bu güýç akymy we ony çäklendirýän gaty üstüň (turbanyň, kanalyň içki diwary) arasynda ululygy $S = \lambda l$ ($\lambda -$akymyň öllenýän perimetri, $l -$akymyň uzynlygy) sürtülme meýdanynda döreýär hem-de diwaryň büdür-südürligine we akymyň dinamiki häsiýetnamaryna baglylykda kesgitlenilýär.

Ikinjiden, bu güýç akymyň düzümini emele getirýän elementar çüwdürimleriň arasynda şepbeşiklik garşylygy görnüşinde döreýär hem-de esasy şepbeşikligiň ululygyna baglylykda kesgitlenilýär.

Ýokarda agzalan sürtülme garşylyk güýçleriniň başlangyç döreýiş mehanizmi hereketiň otnasitelligine we üznüksizligine esaslanandyr. Hereketiň otnasitelligini akabanyň içki diwaryna

görä suwuklyk (gaz) akymynyň otnasitel hereketi hem-de elementar çüwdürimleriň tizlikleriniň özara tapawutlylygy doly düşündirýär. Şol sebäpli akymlarda döreýän sürtülme garşylyk güýji akabanyň içki diwary bilen akymyň arasynda döreýän bütewi sürtülme garşylyk güýji ýaly seredilýär we kesgitlenilýär. Onuň deň täsiredijisi akymyň içki çägara sürtülme meýdany boýunça tizlik wektorynyň ters ugruna gönükdirilendir. Bu güýjiň ululygy öň bellenilşi ýaly;
$T = \mu S \vartheta$ formula arkaly hasaplanyp biliner (μ −şepbeşikligiň dinamiki koeffisiýenti, S −içki sürtülme meýdany, ϑ −akymyň orta tizligi)

Akymyň ýokarda agzalan sürtülme garşylyk güýjiniň döreýiş mehanizmini 4.1-nji suratda görmek bolýar. Suratdan görnüşi ýaly akymyň çüwdürimleriniň otnositel hereketi içki gaty diwaryň garşylygyndan başlanýar hem-de akyma parabola şekilli çyzyk boýunça ýaýraýar. Akymyň orta tizligi ϑ parabolanyň agyrlyk merkeziniň kese koordinatyna deňdir, sürtülme güýjiniň T deňtäsiredijisiniň ugry bolan akym bilen akabanyň içki diwarynyň sürtülme tekizligi bilen gabat gelýär.

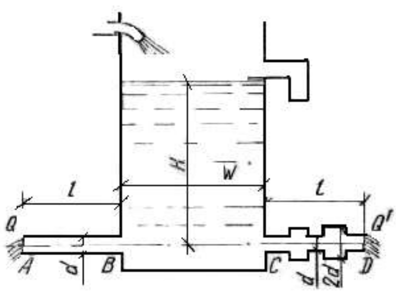


4.1-nji surat

Suwuklyk (gaz) akdyryjy ulgamlarda içki sürtülme güýjini döredýän garşylyga uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygy diýilip atlandyrylýar. Bu garşylyk akymlaryň uza boýuna deňölçegli paýlanýar. Akymlarda uzynlyk gidrawliki garşylygy ýeňip geçmek üçin sarp edilýän napora naporyň uzynlyk sürtülme ýitgisi diýilýär. Bu ýitgi h_l bilen bellenilýär.

Uzynlyk sürtülme garşylyklary we ýitgileri bilen bir hatarda akymlarda ýerli gidrawliki garşylyklar we ýitgiler hem döreýärler. Olar akymlaryň içki çüwdürimler düzüminiň mese-mälim derejede deformirleşmesi zerarly döredýän ýerli gysga uzynlykly garşylyklardyr. Ýerli gidrawliki garşylyklaryň döreýiş mehanizmi esasan ýerli garşylygyň gurluş şekiline baglydyr. Turbageçiriji ulgamlarynda ýerli garşylyklaryň sanawyna dürli diametrli turbalaryň seplemlerini ýapyjylar (zadwişkalar, zatworlar, wentiller), tirsekler turbalary uzaboýuna biri-birine birleşdiriji muftalar, kebşirleme tikinleri we beýlekiler girýärler. Ýerli gidrawliki garşylyklary ýeňip geçmek üçin sarp edilýän napora naporyň ýerli ýitgisi diýilip atlandyrylýar. Bu ululyk $h_ý$ bilen bellenilýär.

4.2-nji suratda uzynlyk we ýerli gidrawliki garşylyklaryň we ýitgileriň deňeşdirme aratynlygyny aýdyň düşündirýän mysal şekillendirilen.



4.2-nji surat

Çyzgydan görnüşi ýaly hemişelik h naporly we V göwrümli howuzdan suw iki sany deň l uzynlykly hem-de deň d diametrli AB we ÇD turbalardan akyp çykýar. ÇD turbanyň iki sany gysga böleginde turbanyň diametri 2d çenli ulaldylan. Tejribe arkaly turbalardan akyp çykýan suwyň Q (AB turbanyň akymynyň mukdary) we Q^I (ÇD turbanyň akymynyň mukdary) mukdarlary deňeşdirilende, $Q > Q^I$ deňsizlik mese-mälim ýüze çykýar.

Diýmek turbalaryň esasy garşylyk emelegetiriji görkezijileriniň (l,d) deňligine garamazdan, ÇD turbada döredilen goşmaça (akymyň yzygiderlikde birden giňelmesi we daralmasy) ýerli garşylyk akymy hereketlendiriji h naporyň belli bir böleginiň goşmaça dörän naporyň ýerli $h_ý$ ýitgisine sarp edilmegine sebäp bolýar.

Şeýlelikde 4.2-nji suratda şekillendiriln AB turbada diňe deňölçegli paýlanan uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygy we naporyň uzynlyk gidrawliki h_e ýitgisi döreýär. Bu ýitgi aşakdaky görnüşde aňladylýar:

$$h = h_e \qquad (4.1)$$

AB akymyň pýezometriki çyzygy deňölçegli eňňitlikli göni çyzykdyr. ZÇD turbada bolsa gidrawliki garşylyklaryň we ýitgileriň iki görnüşi döreýärler hem-de umumy ýagdaýda aşakdaky görnüşde kesgitlenilýärler:

$$h = h_e + h_ý \qquad (4.2)$$

Çyzgydan görnüşi ýaly, naporyň $h_ý$ ýerli ýitgileri ÇD akymyň pýezometriki çyzygynda degişli dik aralyklar görnüşinde şekillendirilendir.

4.2 Turbageçirijilerde naporyň ýitgileriniň kesgitlenilişiniň umumy usuly

Ýokarda, (4.2) aňlatmadan görnüşi ýaly, turbageçiriji ulgamlarda naporyň umumy ýitgisi h_f uzynlyk sürtülme h_e hem-de ýerli garşylyk $h_ý$ ýitgileriň jemine deňdir, ýagny:

$$h_f = h_e + h_ý \tag{4.3}$$

Turbageçiriji ulgamlarda akymlaryň naporynyň uzynlyk sürtülme ýitgisi, köp sanly tejribe we praktiki derňewlerinden görnüşi ýaly, aşakdaky faktorlara baglylykda kesgitlenilmelidir:

$$h_f = f(d, l, \rho, \mu, \vartheta, \Delta) \tag{4.4}$$

Bu ýerde,
d – turbanyň içki diametri,
$l -$ turbanyň uzynlygy,
$\rho -$akymyň dykyzlygy,
$\mu -$akymyň şepbeşikligi,
$\vartheta -$akymyň orta tizligi,
$\Delta -$turbanyň içki diwarynyň büdür-südürliginiň orta ululygy.

XVIII asyryň segseninji ýyllarynda Fransiýanyň we Germaniýanyň gidrawliki ylmy mekdepleriniň alymlary (4.4) funksional deňleme boýunça, gidrawliki hasaplamanyň talaplaryny degişli derejede kanagatlandyrýan aşakdaky çözgüdi hödürlediler:

$$h_e = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{\vartheta^2}{2g} \tag{4.5}$$

(4.5) formula gidrawlika ylmyna Darsiniň formulasy ady bilen girdi. Bu formulada λ-turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti ýa-da Darsiniň koeffisiýenti λ köp ýyllaryň dowamynda hemişelik ululyk ýaly kabul edildi. XX asyryň ortalarynda giňişleýin tejribe derňewleriň netijesinde (olar bu bölümde doly beýan edilerler) λ ululygy kesgitlemekligiň takyk usullary alyndy.

Naporyň h_e uzynlyk sürtülme ýitgisiniň (4.5) formuladan gelip çykýan gidrawliki manysy aşakdakydan ybaratdyr:
Turbadaky akymyň naporynyň sürtülme ýitgisiniň ululygy akymyň tizlik naporyň ($\frac{\vartheta^2}{2g}$) we uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygynyň ($\frac{\lambda l}{d}$) köpeltmek hasylyna deňdir. (4.4) we (4.5) aňlatmalar özara deňeşdirilende, λ koeffisiýentiň akymyň fiziki häsiýetnamalaryna hem-de turbanyň içki diwarynyň garşylyk görkezijilerine baglylygy aýdyň bolar.

Naporyň ýerli ýitgisiniň formulasy aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$h_{ý} = \zeta \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (4.6)$$

(4.6) formula Weýsbahyň formulasy diýilip atlandyrylýar. Bu formulada ζ – turbanyň (akymyň) ýerli garşylyk koeffisiýenti ýa-da Weýsbahyň koeffisiýenti, $\frac{\vartheta^2}{2g}$ −akymyň tizlik napory, ϑ −ýerli garşylygyň çäginde akymyň orta tizligi.

Şeýlelikde turbageçiriji ulgamlarda naporyň umumy ýitgisiniň ululygyny kesgitlemek üçin, (4.2) formulany doly görnüşde ýa-da Darsi – Weýsbahyň birleşdirilen formulasy görnüşinde ýazyp bolar:

$$h_f = (\frac{\lambda l}{d} + \sum \zeta) \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (4.7)$$

Bu formulada

$$\frac{\lambda l}{d} + \sum \zeta = \lambda_{a.u} \qquad (4.8)$$

Gidrawliki akdyryjy ulgamyň ýa-da turbageçirijiniň doly gidrawliki garşylygy $\sum \zeta -$ulgamdaky ýerli garşylyklaryň koeffisiýentleriniň jemi.

4.3 Gidrawliki akdyryjy ulgamlaryň görnüşleri

Ýokarda suwuklyk (gaz) akymlarynda, şol sanda, turba geçiriji uldöreýän naporuň ýitgileriniň görnüşleri hem-de olaryň kesgitleniş usullary seredildi. Naporyň ýitgileriniň ululyklaryny kesgitlemek üçin alynan (4.5), (4.6) we (4.7) formulalaryň umumylygyna we manylarynyň bütewiligine ýenede bir gezek üns bereliň: naporyň ýitgileri akymyň tizlik naporynyň ýitýän böleginiň ulylygyna deňdir. Öz gezeginde “ýitýän bölek” degişli gidrawliki garşylygyň görnüşi we ululygy kesgitlenýär. Şeýlelikde, akymlary ýada tutuş gidrawliki akdyryjy ulgamlary tapawutlandyrýan esasy görkeziji olardaky gidrawliki garşylyklaryň we naporyň ýitgileriniň görnüşleridir. Bu babatda, ähli gidrawliki akdyryjy ulgamlar aşakdaky üç görnüşe bölünýändir:

1. Deşikler we jaýryklar
2. Oturtmalar we gysga turbageçirijiler.
3. Uzyn ýa-da magistral turbageçirijiler.

Deşiklerdäki we jaýryklardaky akymlarda naporyň umumy ýitgisi diňe ýerli garşylygyň we ýitginiň ululyklary bilen kesgitlenilýändir. Sebäbi bu akdyryjy ulgamlaryň uzynlyk görkezijisi ujypsyzdyr ýa-da $l \approx 0$, onda $h_f = h_ý$. Deşiklerde we jaýryklarda akymyň gidrawliki garşylygy esasan onuň janly kesiginiň mese-mälim derejede gysylmagy netijesinde döreýär. Deşikleriň we jiýryklaryň praktikada ulanylyşynyň mysallary hököminde nebit-gaz guýularynyň zaboýundaky tilsimat deşiklerini, suwuklyklary we gazlary gaýtadan işleýän desgalarynyň deşikleriniň gidrotehnikada bentleriň we gatlaklaryň deşiklerini we jaýryklaryny görkezmek bolar.

Oturtmalardaky we gysga turbageçirijilerdäki akymlarda naporyň uzynlyk sürtülme we ýerli ýitgileri deňeşdirip bilinjek derejede $h_e \approx h_ý$ döreýärler hem-de bilelikde umumy ýitginiň ululygyny kesgitleýärler, ýagny $h_f = h_e + h_ý$. Oturtmalar we gysga turba geçriji uzynlyk ölçeg “gysga” bolsada, olaryň ýerli garşylyklarynyň sanynyň hasabyna naporyň h_e we h_m ýitgileri deňeşer ululyklarda saklanýarlar. Oturtmalar esasan çüwdürim akymlaryny döretmek we ulanmak bilen baglanyşykly ugurlarda (suw fontanlary, ýangyn söndürýän çüwdürimler, ýyladylýan ýa-da sowadylan howany paýlaýan gurluşlar we beýlekiler), suwuklyklary wegazlary gaýtadan işlemek bilen baglanyşykly köpgörnüşli tilsimat desgalarynda, çüwdürim nasoslarynda, ýežektor we inžektor gurluşlarynda giňden ulanylýar. Gysga turbageçrijileriniň mysallary hökümінde nasos we kompressor stansiýalarynyň içki çatyjy turbalaryny nebiti we gazy gaýtadan işleýän tilsimat desgalarynyň daşky çatyjy turbalaryny, sifon turbalaryny, jaýlaryň içki suw, ýylylyk, gaz hem-de howa çalyşmak ulgamlarynyň turbalaryny görkezmek bolar. Oturtmalaryň we gysga turbageçrijileriň umumy gidrawliki garşylyklary (4.8) formula boýunça kesgitlenilýär.

Uzyn ýa-da magistral turba geçrijileriň akymlarynda naporyň ýitgisiniň iki görnüşinde döremegine garamazdan, uzynlyk sürtülme h_e ýitgisiniň has agdykly edýändigi sebäpli ($h_e >> h_ý$), naporyň umumy ýitgisiniň ululygy aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

$$h_f = \alpha \cdot h_ý \qquad (4.9)$$

Bu ýerde

α – uzyn ýada magistral turba geçrijide naporyň ýerli ýitgisiniň ululygyny göz öňünde tutýan düzediş koeffisiýenti. Gidrawliki hasaplamalarda onuň ululygy α = 1.05 – 1.15 (ortaça α=1.1) kabul edilyär. Şeýlelikde magistral turbageçirjilerinde naporyň ýerli ýitgisi $h_ý$ ýörite kesgitlenilmeýär, onuň ululygy ulgamyň naporynyň uzynlyk h_e hasaplama ýitgisiniň (5 - 15) % möçberinde kabul edilýär, ýagny

$$h_ý = (0.05 – 0.15)\ h_e \qquad (4.10)$$

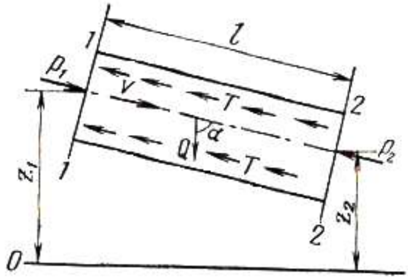
Magistral turbageçriji ulgamlarynyň mysallarynyň sanowyna Türkmenistanda hereket edýän “Orta Aziýa - Merkez”, “Türkmenistan – Hytaý” we “Türkmenistan - Eýran” halkara magistral gazgeçrijilerini, “Balkanabat - Türkmenbaşy”, “Hazar - Türkmenbaşy” we “Ýaşyldepe - Pelwert” magistral nebitgeçrijilerini, “Bereket – Balkanabat -Türkmenbaşy”, “Aşgabat-Ýerbent”, “Gämi-Aşgabat” suw geçirijilerini uly buýsanç bilen görkezmek bolar.

4.4 Deňölçegli hereketiň esasy deňlemesi

Öň bellenilişi ýaly (3.1) suwuklygyň (gazyň) deňölçegli hereketi diýilip janly kesiginiň geometriki şekili, meýdany hem-de onuň degişli nokatlarynda tizlikleriň ululyklary hemişelik bolan akymlaryň hereketine aýdylýar.

Turbageçirijidäki akymyň hereket ugruna onuň diametri we akymyň göwrüm mukdary hemişelik bolsa onda bu akym deňölçegli hereketiň mysaly bolup biler.

Deňölçegli hereketli turbadan akýan akymyň 1-1 we 2-2 tekiz kesikleriň l uzynlykly aralygynda alynan böleginiň deňagramlygyna seredeliň (4.3-nji surat). Alynan akym böleginiň uza boýuna $\omega = const, \vartheta = const$ ululykdyr.



4.3-nji surat

Ýokarda (4.1) bellenilişi ýaly T sürtülme garşylyk güýjiniň akymyň otnasitel hereketiniň (turbanyň içki diwaryna görä) netijesinde λl sürtülme meýdanynda döreýän güýçdiginden hem-de bu güýjiň akymyň içki düzüminde döreýän elementar şepbeşiklik sürtülme güýçlerini hasaba alýandygyndan ugur alyp kabul edilen akymyň orta tizligini islendik kesik ýa-da islendik elementar göwrüm üçin hemişelik ululyk diýip alýarys. Onda seredilýän akym böleginde döreýän ähli sürtülme garşylyklary we ýitgileri akymyň uzynlyk sürtülme gidrawliki garşylygyny aňladar hem-de naporyň umumy ýitgisi üçin $h_f=h_e$ şerti kabul edip bolar. Şeýlelikde naporyň h_e uzynlyk sürtülme ýitgisi Bernulliniň deňlemesinden takyk kesgitleniler:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\vartheta^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\vartheta^2}{2g} + h_e \qquad (4.11)$$

Ýa-da

$$h_e = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g}\right) - (Z_2 + \frac{P_2}{\rho g}) \qquad (4.12)$$

(4.12) belgili deňleme, deňölçegli hereket edýän akymlarda naporyň uzynlyk sürtülme ýitgisiniň akymyň doly gidrostatiki naporlarynyň tapawudynyň ululygy bilen kesgitlenilýändigini subut edýär. Diýmek deňölçegli hereketli akymlaryň esasy gidrawliki häsiýetnamasy bolup onuň P-P pýezometriki çyzygy hyzmat eder. Indi deňölçegli hereketli akymlara täsir edýän güýçleriň deňagramlygyna seredeliň. Onuň üçin akym bölegine täsir edýän $P_1 = \mathrm{P}_1\omega$ we $P_2 = \mathrm{P}_2\omega$ ululykly basyş, $G = \rho g \omega l$ ululykly agyrlyk hem $T = \tau\lambda l$ ululykly sürtülme güýçleriniň akymyň hereket okuna bolan proýeksiýalarynyň jeminiň deňlemesini ýazalyň:

$$P_1 - P_2 + G \cdot \cos\alpha - T = 0 \qquad (4.13)$$

Ýa-da

$$P_1\omega - P_2\omega + \rho g \omega l \cdot \cos\alpha - \tau\lambda l = 0 \qquad (4.14)$$

Soňky (4.14) belgili deňlemede $\cos\alpha = \frac{Z_1 - Z_2}{l}, \tau -$sürtülme garşylyk güýjiniň güýjenmesi, $\lambda -$akymyň ölleýän perimetri, $\lambda = \frac{\omega}{R}$, R – akymyň gidrawliki radiusy, turbalardaky akymlar üçin $R = \frac{d}{\lambda}$. Onda (4.14) belgili deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$P_1\omega - P_2\omega + \rho g\omega \cdot (Z_1 - Z_2) = \frac{\tau l\omega}{R} \qquad (4.15)$$

(4.15) belgili deňlemäniň agzalarynyň $\rho g\omega$ ululyga bölüp hem-de bu deňlemäniň çep tarapyny (4.12) deňleme boýunça aňladyp deňölçegli hereketiň esasy deňlemesi alynar:

$$h_e = \frac{\tau l}{\rho g R} \qquad (4.16)$$

Deňölçegli hereketiň esasy (4.16) görnüşdäki deňlemesini $i = \frac{h_e}{l}$ akymyň gidrawliki eňňitligidigini hem-de $\gamma = \rho g$ akdyrylýan suwuklygyň (gazyň) göwrüm (udel) agyrlygydygyny göz öňünde tutup, aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\tau = \gamma R i \qquad (4.17)$$

4.5 Suwuklyk akymlarynyň hereket kadalary

XIX asyryň ikinji ýarymyndan başlap, suwuklyk (gaz, howa) akymlarynyň hereketiniň iki kadasy bolýandygy subut edildi. 1874-nji ýylda genial rus himigi D.I.Mendeleýew ýeriň golaýynda howa gatlagynyň akymlarynyň düzümleri biri-birinden tapawutlydygyny beýan etdi. 1883-nji ýylda iňlis fizigi O.Reýnolds nazary we tejribe derňewleriň netijesinde suwuklyk akymynyň iki hereket kadasynyň bardygyny anyk subut etdi. Olar laminar (gatlaklaýyn) we turbulent (tertipsiz) hereket kadalarydyr.

Laminar kadaly akym diýip suwuklyk akymyny emele getirýän emele getirýän elementar çüwdürimler (gatlaklar) özara garyşman, hemişelik düzümde tekiz parallel ýagdaýda hereket edýän akyma aýdylýar. Bu görnüşli akymda islendik bölejigiň hereket traýektoriýasy esasy akymyň traýektoriýasy bilen gabat gelýär. Akymda döreýän garşylyk (içki sürtülme) güýji bolsa elementar çüwdürimleriň özara sürtülme güýçleriniň deň täsir edijisidir. Bu güýje akymyň laminar garşylyk güýji diýip hem aýdylýar. Akymyň laminar garşylyk güýji suwuklygyň şepbeşiklik häsiýeti bilen gö-göni baglanyşyklydyr.

Turbulent kadaly akym diýip suwuklyk akymyny emele getirýän elementar çüwdürimleriň (gatlaklaryň) üznüksiz üýtgeýän düzümde tertipsiz we garym-gatym ýagdaýda hereket edýän akymyna aýdylýar. Beýle kadaly akymda islendik elementar bölejigiň hereket traýektoriýasy akymyň umumy traýektoriýasy bilen gabat gelmeýär. Elementar bölejigiň kese, hatda ters traýektoriýalarda, ýerli tizlik ululyklarynyň bolsa üznüksiz we pulsasiýa kadada üýtgeýändigi turbulent akymyň esasy aýratynlygydyr. Bu kadaly akymyň çylşyrymly hereket düzümi bolup, onda döreýän çarşylyk güýjiniň ululygy diňe suwuklygyň fiziki häsiýetine (dykyzlyk, şepbeşiklik,...) bagly bolman eýsem akymda goşmaça döreýän turbulent sürtülme garşylygyna has täsirli baglydyr.

Akymlaryň laminar we tubulent hereket kadalarynyň aýratynlygy – olarda içki garşylyk mehanizminiň düýpli tapawudydyr. 4.4-nji suratda Reýnoldsyň tejribe desgasy hem-de onda alynan esasy netijeler şekillendirilen.

4.4-nji surat

Tejribe desgada 2 suwly gaba kese aýna 4 turbasy birleşdirilen. Turbadaky akymyň ϑ tizligini sazlamak üçin wentil 5 ulanylýar, akymyň hereket kadasy bolsa oňa 3 turbajyk arkaly 1 gapjagazdan akdyrylýan reňkli akymjygyň hereket traýektoriýasynyň şekili boýunça kesgitlenilýär. Aýna 4 turbadaky suw akymy has haýal tizlik bilen akdyrylanda oňa goýberilýän reňkli akymjagaz a suratda görkezilişi ýaly, göni çyzykly traýektoriýa boýunça hereket eder – onda aýna turbadaky suw akymy laminar hereket kadaly akymdyr. Akymyň tizligi ulaldygyça reňkli akymjagazyň şekili, b suratda görkezilişi ýaly tolkun şekiline geler – onda suw akymynyň hereket kadasy laminar görnüşdeň geçip turulent görnüşe golaýlaşar. Eger-de akymyň tizliginiň ulaldylmagy dowam etdirilse, ç suratda görkezilişi ýaly, reňkli akymjagazyň bütewi çyzyk şekili bozular. Suwuň reňk çyzygy bölejiklere dargar hem-de garym-gatym, tertipsiz hereket ederler – onda aýna turbadaky suw akymynyň hereket kadasy doly turbulent görnüşe geçer.

Akymlaryň hereket kadasyny kesgitleýän ululyga Reýnoldsyň sany ýa-da suwuklyk akymynyň hereket kadasynyň kriteriýasy (ölçegi) diýlip aýdylýar. Bu kriterial san, 3.8 bölümdäki ýaly gidro-aerodinamika ylmynda iň wajyp meňzeşlik kriteriýalarynyň biridir. Ol Re simwoly bilen belgilenýär we aşakdaky görnüşde kesgitlenýär:

$$Re = \frac{\vartheta d}{\nu} \qquad (4.18)$$

Bu ýerde
ϑ −akymyň orta tizligi, d – turbanyň diametri, ν - suwuklygyň şepbeşikliginiň kinematiki koeffisiýenti.

Suwuklyk akymlarynyň hereket kadalarynyň tebygatyny (fiziki manysyny) Reýnoldsyň kriteriýasy has aýdyň düşündirýär. Bu san akyma täsir edýän hereketlendiriji inersiýa we içki sürtülme garşylyk güýçleriniň gatnaşygyny aňladýar. Diýmek, belli bir akymda tizlik ulaldygyça, onda ýüze çykýan inersiýa we garşylyk güýçleri deň derejede artmaýarlar. Reýnoldsyň takyk kesgitlemelerine görä, turbalarda laminar hereket kadasy $Re \leq 2320$ we turbulent hereket kadasy bolsa $Re > 2320$ bolan şertlerde döreýärler. Şeýlelik bilen, $Re_{kr} = 2320$ ululyga Reýnoldsyň kritiki sany ýa-da suwuklygyň hereket kadalarynyň araçäk kesgitleýji sany diýip aýdylýar.

Reýnoldsyň kritiki sanyna laýyk gelýän akymyň orta tizligine akymyň kritiki tizligi diýilýär. Onuň ululygy aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

$$\vartheta_{kr} = \frac{Re_{kr}\,\nu}{d} \qquad (4.19)$$

Akymyň (4.19) belgili formula boýunça kesgitlenilen kritiki tizligi ϑ_{kr} onuň tubulent kadadan laminar kada geçýän tizligidir. Oňa aşaky kritiki tizlik diýilýär. Tersine, ýagny laminar kadadan turbulent kada geçýän tizlige akymyň ýokary kritiki tizligi diýilýär. Şeýlelikde Reýnoldsyň kritiki sanynyň hasaplama ululygy $Re_{kr} = 2000 \div 2320$ çäklerde kabul edilip biliner. Bu tizlikleriň biri-biri bilen gabat gelmeýänligi we Reýnoldsyň kritiki sanynyň ululygynyň köp sanly derňew maglumatlaryna laýyklykda turbalardaky akymlar üçin 500-den 50000 çenli bolmaklygy, dürli we tapawutly tejribe şertleriň netijesidir. Reýnoldsyň kritiki sanynyň bahasynyň $Re_{kr} = 2320$ deňligi nazary we tejribe kesgitlemeleriň has takyk netijesi hökmünde kabul edildi.

4.6 Laminar kadaly deňölçegli hereketiň esasy gidrawliki häsiýetnamalary

Turbageçirijileriniň deňölçegli laminar hereket kadaly suwuklyk (gaz, howa) akymlarynda sürtülme garşylyk (şepbeşiklikỳ) güýçleriniň güýjenmesiniň we ýerli tizlikleriň paýlanyşyna hem-de akymyň naporynyň uzynlyk sürtülme ýitgisiniň hasaplanylyşyna seredeliň.

Ýokarda bellenilişi ýaly, suwuklyklaryň laminar hereketi elementar çüwdürimleriň ýa-da gatlaklaryň özara garyşmaýan, alyş-çalyşsyz hereketleriniň netijesidir. Onda özara sürtülýän goňşy gatlaklaryň ýa-da akym bilen turbanyň (akabanyň) içki diwarynyň sürtülme garşylyk güýjiniň τ güýjenmesiniň akymda paýlanyş häsiýetnamasyny (4.17) belgili deňölçegli hereketiň esasy deňlemesi diýilip atlandyrylan formula boýunça kesgitläp bolar, ýagny:

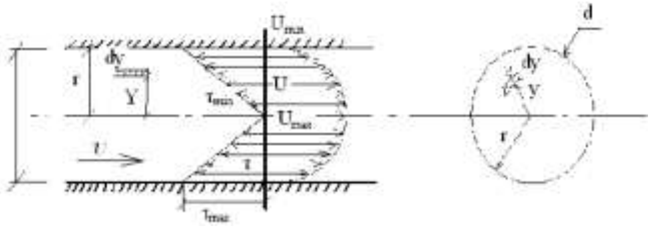
$$\tau = \gamma R i = \gamma \frac{r}{2} i = \frac{\gamma \mathrm{i}}{2} y \qquad (4.20)$$

Bu ýerde

R-akymyň gidrawliki radiusy,

r-akymyň geometriki radiusy,

y-akymyň düzümini emele getirýän islendik dy galyňlykly gatlagyň (elementar çüwdürimiňý) radiusy. Seredilýän akymyň akymyň mysalynda (4.5-nji surat) y radius 0-dan (akymyň oky bilen gabat gelýän gatlak) r-e çenli (turbanyň içki gaty diwaryny ölleýän gatlak) üýtgäp biler.



4.5-nji surat

Turbageçirijiniň deňölçegli laminar akymyňda sürtülme güýjiniň güýjenmesiniň τ we ýerli tizlikleriň U paýlanyş grafigi.

Onda (4.20) belgili formulada y radiusyň ýerine $y = o$ hem-de $y = r$ bahalary goýup, τ güýjenmäniň paýlanyş grafigini alarys. Dogrudan hem

$y = o$ bolanda $\tau_{min} = 0$ bolar

$y = r$ bolanda $\tau_{max} = \frac{\gamma \mathrm{i}}{2} r$ bolar.

Şeýlelikde laminar akymyň oky bilen gabat gelýän gatlakda sürtülme güýjiniň güýjenmesi minimal ululyga akymyň içki gaty diwara "Ýelmeşen" gatlagynda τ maksimal ululyga eýe bolarlar. Laminar akymyň sürtülme garşylyk güýjiniň güýjenmesiniň ýokarda alynan paýlanyş kanunynyň hakykylygy indiki çözgütlerde ýene-de bir gezek tassyklanylýar.

Dogrudan hem, Nýutonyň içki sürtülme ýa-da şepbeşiklik kanunyna (1.24) laýyklykda suwuklyklaryň otnasitel hereketi netijesinde döreýän içki sürtülme güýjiniň güýjenmesi akymlarda aşakdaky görnüşde paýlanýar:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \tag{1.24}$$

Bu ýerde

u-akymyň ýerli tizlikleri,

μ-şepbeşikligiň dinamiki koeffisiýenti.

Onda sürtülme güýjiniň güýjenmesiniň ululygy üçin getirilen (1.24) we (4.20) deňlemeleri bilelikde seredip, akymyň ýerli tizlenmeleriniň (gatlaklaryň ýa-da elementar çüwdürimleriň) paýlanyş kanunyny alarys:

$$-\mu\frac{du}{dy} = \frac{\gamma i}{2}y$$

Ýa-da du üçin aşakdaky differensial deňleme alynar:

$$du = -\frac{\gamma i}{2\mu}ydy \qquad (4.21)$$

$$U = -\frac{\gamma i}{4\mu}y^2 + c \qquad (4.22)$$

Integralyň c hemişeligi y=r bolanda akymyň iň soňky, turbanyň içki gaty diwaryna “ýelmeşen” gatlagynyň tizliginiň U_{min}=0 deňliginden kesgitlenerler, ýagny:

$$c = \frac{\gamma i}{4\mu}r^2 \qquad (4.23)$$

Onda, akymy emele getirýän elementar gatlaklaryň tizlikleri üçin gidrogazodinamikanyň iňlis alymy Stoksyň ady bilen tanalýan ýerli tizlikleriň paýlanyşynyň paraboliki kanunynyň deňlemesi alynar:

$$U = \frac{\gamma i}{4\mu}(r^2 - y^2) \qquad (4.24)$$

(4.24) belgili deňlemede y=0 bolanda

$$U = U_{max} = \frac{\gamma i}{4\mu}r^2 \qquad (4.25)$$

Ýerli maksimal tizligiň (akymyň oky bilen gabat gelýän gatlagyň tizligi ýa-da parabolanyň depesiniň koordinaty) ululygy alynar, y=r bolanda, ýokarda bellenilişi ýaly, diwarýaka gatlagyň

$$U=U_{min}=0 \tag{4.26}$$

tizligi alynar.

Seredilýän mysalda turbadaky akymyň Q mukdary üçin $Q=\int_U^r U\cdot 2\pi y dy$ aňlatma (4.24) belgili deňlemeden U-nyň bahasyny goýup aşakdaky formula alynar:

$$Q=\frac{\gamma \mathrm{i}}{8\mu}\pi r^4 \tag{4.27}$$

Akymyň orta tizliginiň ululygy üçin alynar:

$$\vartheta=\frac{Q}{\omega}=\frac{\gamma \mathrm{i}\pi \mathrm{r}^4}{8\mu\pi r^2}=\frac{\gamma \mathrm{i}}{8\mu}r^2 \tag{4.28}$$

(4.25) we (4.28) aňlatmalarynyň gatnaşygyndan ϑ hem-de U_{max} tizlikleriň özara gatnaşygyny alarys, ýagny:

$$\frac{U_{max}}{\vartheta}=\frac{\gamma \mathrm{i}\mathrm{r}^2 8\mu}{4\mu\gamma \mathrm{i}r^2}=2 \tag{4.29}$$

Diýmek, laminar kadaly akymly turbalarda akymyň orta ϑ tizligi, onuň maksimal ýerli U_{max} tizliginiň ýarysyna deňdir:

$$\vartheta=\frac{U_{max}}{2} \tag{4.30}$$

Akymyň kinetiki energiýasynyň düzediş koeffisiýenti ýa-da Korioliusyň koeffisiýenti α, öň 3.6-njy bölümde getirilşi ýaly aşakdaky aňlatma boýunça boýunça kesgitlenilýär:

$$\alpha = \frac{\int_{\omega} U^3 d\omega}{\vartheta^3 \omega}$$

Bu aňlatmada $d\omega = 2\pi y dy$, $\omega = \pi r^2$, U-nyň bahasyny (4.24)-den, ϑ-niň bahasyny (4.28)-den alyp α koeffisiýentiň san bahasy, ýagny:

$$\alpha = 2 \tag{4.31}$$

Şeýlelikde, laminar kadaly akymyň kinetik energiýasynyň hakyky bahasy onuň orta tizliginiň ululygy boýunça kesgitlenilen bahasyndan 2 esse uludyr.

Laminar kadaly deňölçegli hereketli turbadaky akymyň naporyň uzynlyk sürtülme ýitgisini kesgitläliň. Onuň üçin (4.28) belgili aňlatmada $i = \frac{h_e}{l}$, $\gamma = \rho g$, $r = \frac{d}{2}$ belli aňlatmalary ulanalyň. Onda

$$\vartheta = \frac{\gamma i}{8\mu} r^2 = \frac{\rho g h_e d^2}{32 \mu l} = \frac{g h_e d^2}{32 \nu l}$$

Ýa-da

$$h_e = \frac{32 \nu l \vartheta}{g d^2} \tag{4.32}$$

Ýokarda alynan (4.32) belgili formula gidrodinamikanyň Puazeýl – Gageniň formulasy diýilip atlandyrylýan, laminar kadaly akymlarda naporyň ýitgisini kesgitlemek üçin giňden ulanylýan formuladyr. Bu formula deňölçegli laminar kadaly akymlarynyň hereket kanuny derejesinde kabul edilýär hem-de aşakdaky ylmy praktiki ähmiýetli netijeleri esaslandyrýar:

1. Laminar kadaly akymlarda içki sürtülme garşylygy esasan suwuklygyň şepbeşikligi döredýändir;

2. Naporyň ýitgisi akymyň orta tizliginiň ululygyna göni proporsionaldyr;

3. Akymyň sürtülme garşylygy we naporynyň ýitgisi turbanyň diametriniň kwadratyna ters;

4. Turbanyň içki diwarlarynyň hili we büdür-südürligi akymyň gidrawliki garşylygyna we naporyň ýitgisine täsir etmeýär. Suwuklyk akymy we onuň gatlaklary turbanyň içki diwarlaryna “ýelmeşen” tizliksiz gatlak boýunça süşirýärler (otnasitel hereket edýärler).

Puazeýl – Gageniň formulasynyň ylmy-praktiki ähmiýetiniň ýene-de bir subutnamasyny getirmek üçin onuň sag tarapynyň sanawjysyny we maýdalawjysyny 2ϑ köpeldeliň:

$$h_e = \frac{32\nu l\vartheta}{gd^2}\cdot\frac{2\vartheta}{2\vartheta} = \frac{64\nu}{\vartheta d}\cdot\frac{l}{d}\cdot\frac{\vartheta^2}{2g} \tag{4.33}$$

Hem-de

$$\frac{64\nu}{\vartheta d} = \frac{64}{Re} = \lambda \tag{4.34}$$

Soňky alynýan (4.33) we (4.34) belgili aňlatmalar naporyň uzynlyk sürtülme ýitgisini hasaplamak üçin gidrawlikanyň esasy formulasy derejesinde seredilýän Darsiniň hem-de gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygyny takyk kesgitleýän formulalardyr. Ýokarda getirilen yzygiderli hem-de jikme-jik seredilen çözgüt usulyýet ýoly bu formulanyň ylmy nazary esasda alynandygyny subut edýär.

Şeýlelikde turbageçiriji ulgamlarynyň laminar kadaly deňölçegli hereketli akymlarynyň esasy gidrawliki häsiýetnamalary $(\tau, U, \vartheta, Q, h_e, \lambda)$ ytlmy nazary çözgütleriň netijesinde takyk kesgitlenildi:

Alynan netijeler doly derejede islendik şekilli akabalarda, ýokary şepbeşikli suwuklyklaryň akdyrylma-ulanylma meselelerinde, laminar kadaly süzülme proseslerinde ulanyly bilinerler.

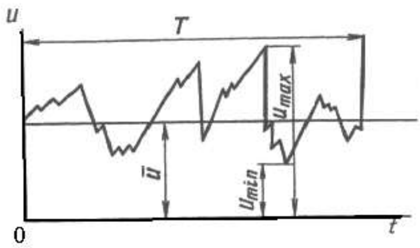
4.7 Turbulent kadaly deňölçegli hereketiň gidrawliki häsiýetnamalary

Turbulent kadaly hereketiň esasy aýratynlygy onuň düzüminiň çylşyrymlygy içki garylma mehanizminiň doly öwrenilmedeikligi hem-de gidrogazodinamika ylmynda ýokarda sesedilen lominarlyk nazaryýeti ýaly turbulentligiň birsydyrgyn nazaryýetiniň entek okarylygy bilen tapawutlanýar.

Häzirki döwürde amaly gidrogazodinamika XX asyryň kyrkynjy ýyllarynda nemes alymlary Prantalb we Karman tarapyndan işlenip geçirilen hem-de soňky ýyllarda köp sanly tejribe derňewleri arkaly tassyklanylan turbulentligiň ýarym emperiki ylymly nazaryýeti ulanylýar. Bu ylmy nazaryýet suwuklyk we gaz akymlary üçin niýetlenilen turbalaryň we kanallaryň gidrawliki hasaplamalaryny inžener praktikasynyň talabyna laýyk derejede ýerine ýetirmekligini üpjün etýär.

Ýokarda 4.4-nji bölümde gysgaça beýan edilen ykymyň turbulentlik garylma mehanizmine çuňňur seredeliň. Bilşimiz ýaly turbalarda akymyň turbulent kadaly hereketi Reýnoldsyň sany ($Re>Re_{kr}$) kritiki ululyga ýetenden soň başlanýar. Bu pursatdan başlap akymy hereketlendiriji güýçler okuň garşylyk güýçlerinden azyndan 2320 esse artýar hem-de akymyň durlukly we deňagramly hereketine özboluşly deformirlenme täsirini ýaýradýar. Deformirlenme prosesiň başlangyç alamatlarynyň biri akymyň laminar gatlaklaýyn düzümi dargamagy hem-de ýerli tizlikleriň we basyşlaryň minimal we maksimal ululyk çäklerinde pulsirleme kadasyna geçmekligidir. Turbulentligiň indiki derejelerinde akymyň düzümindäki elementar çüwdürim gatlaklarynyň bölejiklerinde özara alyş-çalyş we garym-gatym proseslerini has güýçlendirýän hem-de ony tutyş akyma ýaýradýan goşmaça tüweleý şekilli hereketler döredýärler. Turbalent kadaly, akymda islendik elementar bölejik çylşyrymly Braun hereketine mahsus traýektoriýa boýunça tüweleý akymjyklarynyň düzüminde hereket eder.

Tüweleýdöreme hereketleri akymyň turbulent energiýasynyň meheniki görnüşden ýylylyk görnüşine gelmesini amala aşyryjy hem-de onuň akym giňişligine diffuziýa görnüşinde ýaýradyjy, üzüniksiz gaýtalanýar, laminar (şepbeşiklik) sürtülme garşylygy bilen deňeşdirilende onlarça esse artykmaç turbulent garşylygyny döredýän hereketlerdir. Bu aşa çylşyrymly geçiş hem-de döreýiş tubbulentlik prosesiniň başlangyç ýerli tizligiň we onuň emelegetirijileriniň üznüksiz kadada pulsirlemegindedir. Ýerli tizligiň üýtgeme ýa-da pulsirleme grafigi umumy görnüşde 4.6-njy suratda şekillendirilen.



4.6-njy surat

Çyzgyda getirilen grafikde turbulent akymyň düzüminde döreýän aşakdaky tizlikleri görüp we seljerip bolýar:

U – hakyky ýa-da pursatýerli tizligi

U_{max} – ýerli tizligiň maksimal ululygy

U_{min} – ýerli tizligiň minimal ululygy

U_P – maksimal pulsirleme tizligi

$$U_P = U_{max} - U_{min}$$

$+U_P$ – položitel pulsirleme tizligi,

$$+U = U - \overline{U}$$

$-U_P$ – otrisatel pulsirleme tizligi

$$-U_P = \overline{U} - U$$

$+U_{Pmax}$ – maksimal položitel pulsirleme tizligi

$$+U_{P\,max} = U_{max} - \overline{U}$$

Upmax – maksimal otrisatel pulsirleme tizligi

$$-U_{P\,max} = U_{min} - \overline{U}$$

$\overline{U}$ - ýerli orta tizlik ýa-da turbulent akymyň berlen nokadyndaky orta tizlik.

$$\overline{U} = \frac{\int_0^T udt}{T} \qquad (4.35)$$

Bu ýerde
T – ölçeg ýa-da gözegçilik wagt aralygy

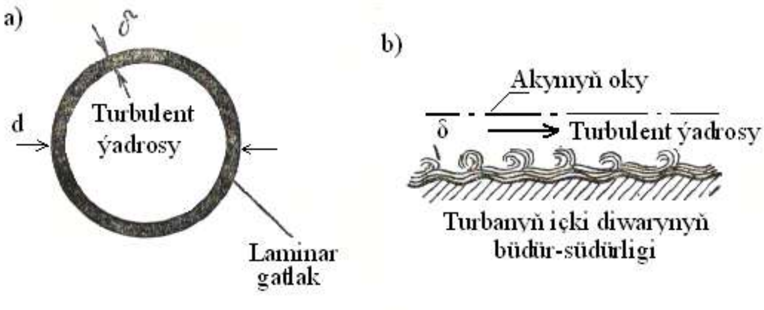
Turbulent akymyň ýerli tizliginiň wagta görä üýtgeme U=f(t) grafiginde görnüşi ýaly, U hakyky ýerli tizligiň tertipsiz kadada üznüksiz üýtgemesine garamazdan, onuň $\overline{U}$ orta görkezijisi dowamly T wagt aralygynda hemişelik ululykda saklanýar. $\overline{U}$ orta tizligiň koordinatynyň çyzygy durnukly we deňölçegli turbulent akymda 0-t gorizontal çyzyga hem-de akymyň okuna parallel ugurda dowam eder. Seredilýän grafiki usulýete laýyklykda $\overline{U}$ orta ýerli tizligiň ululygy T wagt aralygynda döreýän hakyky we muňa deňeşdirilen orta tizlik meýdanlarynyň deňlik şertinden kesgitlenilýär.

Seredilýän akymyň turbulentlik derejesi akymyň orta ϑ tizlik wektoryna perpendikulýar ugurda garylmasyna intensiwligine akymda goşmaça döreýän turbulent garşylyklara, ýerli tizligiň U_P pulsirleme görkezijisiniň belgisine we obsalýut ululygyna baglydyr. Položitel pulsirleme tizlik we onuň dowamlygy toüweleý döremeginiň, otrisatel pulsirleme tizligi we onuň dowamlygy bolsa tersine, tüweleý dargamanyň amatly şertleri we pursatlarydyr. Tüweleýdöreme we tüweleýdargama akymjyklary turbulent hereketiň goşmaça energiýa sarp ediji ýa-da ýitgi dörediji hereketleridir.

Turbulent akymyň düzümi Prandtalyň turbulentlik nazaryýetine görä esasan iki bölekden ybaratdyr:

1. Diwarýaka laminar gatlak
2. Turbulent ýadrosy

4.7-nji suratda turbageçirijide turbulent akymyň düzümi şekillendirilen.



4.7-nji surat

Tubageçirijide turbulent akymyň düzümi.

Turbalent ýadrosy akymyň esasy merkezi bölegini tutýar hem-de ýokarda beýan edilen turbulentlik garylmasynyň ýaýran zolagyny emele getirýär. ýokarda beýan edilen ýerli tizligiň pulsirlemesi we turbulentligiň beýleki elementleri akymyň bu böleginde bolup geçýändir. Akymyň diwarýaka ýuka galyňlykly gatlagy başdaky laminar hereket kadasyny üýtgetmeýär. Şonuň üçin bu gatlak laminar gatlak diýilip atlandyrylýar. Laminar gatlagyň saklanmagy we onuň galyňlygy suwuklygyň şepbeşikligine, akymyň orta tizligine, akabanyň içki diwarynyň büdür-südürligine baglydyr. Galyberse, akymyň turbulent ýadrosynda döreýän kese pulsirlemeler we tüweleýdöremeler gaty diwaryň we onuň büdür-südürliginiň islendik çägara hereketi çäklendiriji täsirini “duýmalydyrlar”.

Laminar diwarýaka gatlagyň δ galyňlygy aşakdaky ýarym emperiki formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\delta = \frac{30 \cdot \nu}{\vartheta\sqrt{\lambda}} = \frac{30 \cdot d}{Re\sqrt{\lambda}} \qquad (4.36)$$

Bu ýerde

ν −akdyrylýan suwuk önümiň şepbeşikliginiň knematiki koeffisiýenti,

ϑ −akymyň orta tizligi,

λ −turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti (Darsiniň koeffisiýenti),

Re −Reýnoldsyň kriteriýal sany,

d −turbageçirijiniň diametri.

Turbalarda suwuklyklary we gazlary akdyrmak, ýylylyk çalyşmak, (gyzdyrmak ýa-da sowatmak) kondinsirlemek we şuňa meňzeş proseslerde lominar diwarýaka gatlak kesgitleýji orny eýeleýär.

Şeýlelik-de, turbulent hereket kadaly hakyky akymlarda onuň düzümine hem-de akymyň ýadrosynda döreýän goşmaça garşylygyna laýyklykda umumy sürtülme güýçleriniň güýjenmesi ýa-da galtaşýan güýjenmeler aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

$$\tau = \tau_l + \tau_T \qquad (4.37)$$

Bu ýerde

τ_l −akymyň şepbeşikliginiň döreýän içki ýa-da laminar garşylyk güýjiniň güýjenmesi:

τ_T −akymyň turbulent ýadrosynda ýerli tizligiň we gidrodinamiki basyşyň pulsirlemesi netijesinde akymyň kese ugurda garylmasynyň döreýän turbulent garşylyk güýjiniň güýjenmesi.

Akymyň şepbeşikliginiň döredýän içki sürtülme ýa-da laminar garşylyk güýjiniň τ_{γ} güýjenmesi Nýutonyň içki sürtülme kanuny esasynda kesgitlenilýär:

$$\tau_{\gamma} = \mu \frac{du}{dy} \tag{1.25}$$

Bu ýerde

μ −akymyň şepbeşikliginiň dinamiki koeffisiýenti,

$\frac{du}{dy}$ −ýerli tizlikleriň gradiýenti.

Suwuklyk we gaz akymlarynda döreýän şepbeşiklik sürtülme güýjiniň güýjenmesi 1.3-nji we 4.5-nji bölümlerde jikme-jik seredildi.

Turbulent garşylyk güýjiniň τ_T güýjenmesi Prandtalyň – Karmanyň turbulentligiň ýarym emperiki nazaryýetine laýyklykda aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\tau_T = \rho l^2 (\frac{du}{dy})^2 = \rho \chi^2 y^2 (\frac{du}{dy})^2 \tag{4.38}$$

Bu ýerde

ρ −akymyň dykyzlygy,

l −kese turbulent garylma ýolunyň uzynlygy, $l = \chi y$,

χ −tubulent akymyň uniwersal hemişeligi, dürli suwuklyklar üçin $\chi = 0.36 - 0.435$ ululyklarda kabul edilýär. Turbalarda suwuklyga akymymy Karmanyň we Guržýenkonyň täze tejribe derňewleri netijesinde $\chi = 0.435$ ululyk alyndy.

y −turbulent ýadronyň çäginde alynan dy galyňlykly elementar gatlagyň (bölejigiň) turbanyň içki diwaryna görä ýerleşen aralygy.

Turbulent akymda y aralyk radiusyň ugry boýunça δ-den r-e çenli üýtgäp biler.

du −ýerli tizligiň doly differensiýaly (üýtgeýän ululygy).

Onda turbulent hereket kadaly akymlarda (4.37) belgili aňlatmada getirilen umumy garşylyk güýçleriniň güýjenmesi ýa-da akymyň galtaşýan güýjenmeleri aşakdaky gförnüşde kesgitleniler:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} + \rho \chi^2 y^2 (\frac{du}{dy})^2 \qquad (4.39)$$

Akymlaryň hereketiniň turbulentlik derejesine laýyklykda pes, turbulentlik derejeli akymlarda (täze polat turbalkarda suw akymy üçin $Re = 2320 - 3000$) şepbeşiklik ýa-da laminar galtaşýan güýjenmeler τ_l agdyklyk eder, orta turbulentlik derejeli akymlarda $Re \geq 100000$ τ_T turbulentlik galtaşýan güýjenmeler has agdyklyk eder. Orta we ýokary turbulentlik derejeli akymlar üçin Petrowyň sürtülme kanunyna laýyklykda (τ_l has kiçi ululykly güýjenmeliligi sebäpli hasaba alynmaýar). (4.39) belgili aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

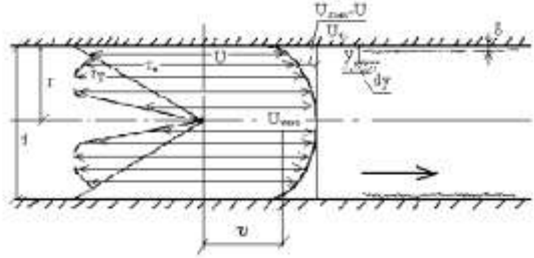
$$\tau = \tau_T = \varepsilon \frac{du}{dy} \qquad (4.40)$$

Bu ýerde

$$\varepsilon = \rho \chi^2 l^2 \frac{du}{dy} \qquad (4.41)$$

Aňlatma kabul edildi. ε ululyk suwuklygyň turbulent ýa-da wertikal koeffisiýent diýilip atlandyrylýar. (4.40) belgili aňlatmasynyň kesgitlenilişiniň Nýutonyň nusgawy içki sürtülme kanunyna getirilen görnüşiniň mysalydyr.

Turbulent hereket kadaly durnukly we deňölçegli akymlaryň garşylyk we ýerli tizlikleriň güýçleriniň galtaşýan güýjenmeleriniň paýlanyş grafigi 4.8-nji suratda şekillendirilýär.



4.8-nji surat

Turbulent hereket kadaly akymlarda ýerli tizlikleriň paýlanma kanuny (4.38) belgili turbulent garşylyk güýçleriniň galtaşýan güýjenmeleriniň paýlanyş kanunyndan gelip çykýar:

$$\tau_T = \rho\chi^2 l^2 (\frac{du}{dy})^2 \qquad (4.42)$$

Bu ýerde du üçin aşakdaky deňlemäni alyp bolar:

$$du = \frac{1}{\chi}\sqrt{\frac{\tau_T}{\rho}} \cdot \frac{dy}{y} \qquad (4.43)$$

Soňky deňlemede $\sqrt{\frac{\tau_T}{\rho}}$ tizlik ölçeg birlikli ululykdyr. Ol dinamiki tizlik ýa-da diwarýaka zolakda galtaşýan güýjenmeleriň ýaýraýyş tizligi diýilip atlandyrylýar, ýagny:

$$U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_T}{\rho}} \qquad (4.44)$$

Onda (4.42) belgili deňleme aşakdaky görnüşe geler:

$$dU = \frac{U_\tau}{\chi} \cdot \frac{dy}{y} \qquad (4.45)$$

Bu deňlemäni integrirleýäris:

$$U = \frac{U_\tau}{\chi} l_n y + c \tag{4.46}$$

Integralyň c hemişeligini akymyň oky bilen gabat gelýän ýerli tizligiň maksimal tizliginden kesgitläris, ýagny $y = r$ bolanda $U = U_{max}$ bolar hem-de onuň üçin aşakdaky aňlatmany alarys:

$$U_{max} = \frac{U_\tau}{\chi} l_n r + c \tag{4.47}$$

Ýa-da

$$c = U_{max} - \frac{U_\tau}{\chi} l_n r \tag{4.48}$$

Integraly c ululygyny (4.45) belgili deňlemede ýerine goýup, turbulent hereket kadaly durnukly we deňölçegli akymlarda ýerli tizlikleriň paýlanyş kanunyny alarys:

$$U = U_{max} - \frac{U_\tau}{\chi} l_n \frac{r}{y} \tag{4.49}$$

Soňky (4.49) belgili deňlemäni ýerli tizligiň otnositel gatlagynyň ýa-da ýerli tizligiň tizlige ýetmeýän bölegine getirilen ululygy $\frac{U_{max}-U}{U_\tau}$ üçin ýazyp bolar, ýagny:

$$\frac{U_{max}-U}{U_\tau} = \frac{1}{\chi} l_n \frac{r}{y} \tag{4.50}$$

4.7-nji suratda (4.48), (4.49) we (4.50) belgili deňlemelerden ulanyp bilinjek turbalarda suwuklyk akymynyň ýerli tizlikleriniň paýlanma grafigi şekillendirilen. Ýokarda bellenilişi ýaly, bu deňlemeler ýerli tizliokleriň ululyklaryny diňe akymyň turbulent ýadrosynyň çäginde kesgitlemeklige mümkinçilik döredýär. Akymyň diwarýaka laminar gatlagynda ýerli tizlikleriň paýlanmasy 4.5-nji bölümde beýan edilişi ýaly, Stoksyň nusgawy kanuna laýyklykda çözülýär.

Turbulent kadaly akymlarda turbanyň ýa-da kanalyň içki diwarynyň sürtülme garşylygy diwarýaka laminar gatlagyň galyňlygynyň we diwaryň büdür-südürliginiň absolýut ululygynyň özara gatnaşygyna baglylykda kesgitlenilýär.

Turbalarda turbulent kadaly suwuklyk akymlary üçin $\chi = 0.435$ −digine ulanyp soňky deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\frac{U_{max}-U}{U_\tau} = 2.30 \cdot l_n \frac{r}{y} \qquad (4.51)$$

Turbulent hereket kadaly turbageçirijileriniň basyşly akymlarynda akymyň orta tizliginiň y (diwara çenli bolan aralygy) koordinaty:

$$y = 0.223 \cdot r \qquad (4.52)$$

görnüşinde kesgitlenilýär. Bu ýerde r −turbanyň radiusy. Bu ýagdaý köp sanly takyk tejribeler arkaly tassyklanylýar hem-de akymlaryň göwrüm mukdarlaryny Pitonyň, Pito – Prandtalyň hem-de pyrlanma enjam usullary bilen ölçemekde giňden ulanylýar.

Turbulent akymyň ϑ orta tizliginiň hem-de α koriolisiň koeffisiýentiniň ululyklaryny kesgitlemek üçin A. D. Altşulyň formulasyny hödürlemek bolar:

$$\frac{U_{max}}{\vartheta} = 1 + 1.3 \cdot \sqrt{\chi} \qquad (4.53)$$

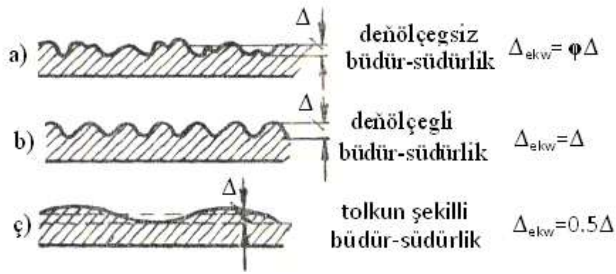
$$\alpha = 1 + 2.65 \cdot \chi \qquad (4.54)$$

Eger-de köp ýyllaryň dowamynda hemişelik ululyk derejesinde kabul edilen $\alpha = 0.025 - 0.04$ ululyklary ulansak onda degişlilikde ϑ we α gidrawliki görkezijiler üçin deňeşdirme mysalynda aşakdaky ululyklary alyp bolar:

$$\vartheta = (0.80 - 0.85) \cdot U_{max} \qquad (4.55)$$

$$\alpha = 1.05 - 1.10 \qquad (4.56)$$

Turbalaryň we kanallaryň gidrawliki hasaplama, taslama, kanallaryň gurnama-gurluşyk we ulanyş işlerinde olaryň içki diwarynyň büdür-südürliginiň esasan üç görnüşi (4.9-nji surat) gabat gelýär.



4.9-njy surat

Deňölçegli büdür-südürlikler esasan emeli usullar bilen döredilýärler. Deňölçegsiz büdür-südürlikler metaldan, demirbetondan, asbestosementden ýasalýan senagat turbalarynda we tolkun şekilli büdür-südürlikler aýnadan, plastiki önümlerinden, aýna süýümli materiýallardan ýasalan turbalarda bolup bilerler. Altşul tarapyndan Prandtal, Nikuradze, Gružiýenko köp sanly ýörite tejribe ylmy-barlag derňewleriniň netijesinde, akymlary çäklendirýän içki gaty diwarlaryň büdür-südürliginiň döredýän gidrawliki sürtülme garşylygy diňe onuň Δ absolýut ululygyna bagly bolman, eýsem onuň ekwiwalent büdür-südürligi $\frac{r}{\Delta_{ekw}}$ $(\frac{d}{\Delta_{ekw}})$ otnositel büdür-südürligine ýa-da $\frac{\Delta_{ekw}}{r}$ $(\frac{\Delta_{ekw}}{d})$ otnasitel ýylmanaklygyna akymyň şepbeşikligine hem-de onuň orta tizligine baglydyr.

Suwuklyk we gaz akabalarynyň içki diwarlarynyň Δ_{ekw} ekwiwalent büdür-südürliginiň ululygy olaryň geometriki şekilini, ýygylygyny hem-de beýiklik ölçegini göz öňünde tutýandyr, umumy ýagdaýda $\Delta_{ekw} = \varphi\Delta$ (4.51) aňlatma boýunça kesgitlenilýär. Bu ýerde φ büdür-südürligiň ýokarda agzalan aýratynlyklaryny göz öňünde tutýan koeffisiýent. Umuman bu koeffisiýentiň ululygy $\varphi = 0.5 - 1.0$ çäklerde bolup biler. Onuň takyk ululygy dürli görnüşli, kysymly we sortomentli turbalar üçin ýörite tejribe derňewleriniň netijesinde anyklanylýar. Aşakda 4.1-nji tablissada häzirki döwürde öndürilýän senagat turbalarynyň Δ absolýut we Δ_{ekw} ekwiwalent büdür-südürlikleriniň gidrawliki hasaplamalar üçin kabul edilip bilinjek ululyklary getirilýär.

4.1-nji tablisa

Turbalaryň absolýut we ekwiwalent büdür-südürlikleriniň ululyklary.

№	Turbalaryň atlary, ýasalan materiallary we içki diwarlarynyň hili	Büdür-südürlikler, mm	
		Absolýut Δ	Ekwiwalent Δ_{ekw}
	Polat tikinsiz turbalary:		
1	Täze we arassa	0.01÷0.02	0.014
2	Ulanylan we arassalanan		0.04
3	Bir ýyl ulanylan gazgeçirijiler		0.12
4	Ulanylan nebitgeçirijiler		0.2
5	Ulanylan howageçirijiler		0.8
6	Ulanylan suwgeçirijiler		0.02
	Polat kebşerlenen turbalar:		
7	Täze we arassa	0.04÷0.1	0.6
8	Ulanylan poslap başlan		0.15
9	Köp ýyl ulanylan gazgeçirijiler	0.5÷1.1	0.75
	Ýylylyk geçiriji ulgamlaryň polat turbalary		
10	Buggeçirijiler		0.2
11	Kondensatorgeçirijiler		0.1
12	Suwgeçirijileri	0.5÷1.0	0.75
	Çöýun turbalary		
13	Täze arassalanan we polimirlenen	0.05÷0.16	0.12

14	Täze we arassalanan	0.2÷0.5	0.3
15	Ulanylan suwgeçirijileri	0.5÷1.5	1.0
16	Köp ýyl ulanylan we poslan		3.0
17	Asbestosement, täze we arassa	0.5÷0.1	0.085
	Demirbeton turbalary		
18	Täze ilkiçekilme tilsimatly	0.01÷0.05	0.03
19	Täze merkezden garýan tilsimatly	0.15÷0.3	0.2
20	Köp ýyl ulanylan	0.3÷0.8	0.5
21	Polietilen, aýna süýümli turbalary	0.02÷0.04	0.03
22	Aýnadan, reňkli metallardan ýasalan senagat turbalary	0÷0.002	0.001

Turbalaryň we kanallaryň içki diwarlarynyň büdür-südürlik görkezijisi anyklanandan hem-de hasaba alynandan soň onuň gidrawliki sürtülme garşylygynyň görnüşi kesgitlenip biliner. Onuň üçin diwarýaka laminar gatlagyň δ galyňlygyny we Δ_{ekw} ekwiwalent büdür-südürliginiň ululygyny deňeşdirmek ýeterlikdir.

Eger-de laminar gatlagyň galyňlygy diwaryň ekwiwalent büdür-südürliginden alyp bolsa $\delta > \Delta_{ekw}$ $(2320 < Re < 10^5)$, oňa gidrawliki ýylmanak garşylykly hereket diýilýär.

Eger-de laminar gatlagyň galyňlygy ekwiwalent büdür-südürligiň ululygy diýip özara deňräk çäklerde bolsalar, $\delta \approx \Delta_{ekw}(10^5 < Re < 3 \cdot 106)$, oňa gidrawliki ýylmanaklykdan büdür-südür garşylyga geçiş hereketi diýilýär.

Eger-de laminar gatlagyň galyňlygy ekwiwalent büdür-südürligiň ululygyndan kiçi bolsa, $\delta < \Delta_{ekw}$ $(Re > 3 \cdot 10^6)$ oňa gidrawliki doly büdür-südür garşylykly hereket diýilýär.

Şeýlelikde ýokarda getirilen köp görnüşli turbulentlik sürtülme şertleri jemläp aýdylanda durnukly we deňölçegli turbulent kadaly akymlarda turbanyň içki diwarynyň we akymynyň arasynda döreýän, üýtgeýän gidrawliki häsiýetnamaly, sürtülme garşylygy turbageçirijiniň uzynlyk gidrawliki sürtülme koeffisiýenti döredýär. Bilişimiz ýaly bu koeffisiýent şeýlede Darsiniň koeffisiýenti diýilip atlandyrylýar hem-de λ harpy Reýnolsyň sanyna hem-de turbanyň otnositel büdür-südürligine baglylykda kesgitlenilýär. Bu baglanyşyk funksional deňleme görnüşinde şeýle ýazylýar:

$$\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d}) \qquad (4.57)$$

Dogrydan hem, turbulent akymlaryň sürtülme garşylyklary we ýitgileri bilen baglanyşykly ähli gidrawliki görkezijiler we häsiýetnamalar (4.57) belgili deňlemede öz ornuny tapýarlar. Olaryň sanawyna akymyň turbulentlik derejesi, şepbeşikligi, dykyzlygy we orta tizligi, laminar gatlagyň galyňlygyny kesgitleýän ululyklar hem-de akabanyň diwarynyň esasy büdür-südürlik görkezijileri girýärler.

Gidrawlika ylmynda basyşly akymly turbageçirijileriň gidrawliki sürtülme koeffisiýentini köp ýyllaryň dowamynda hemişelik ululyk hökmünde kabul edilýär. Ýokarda (4.57) belgili aňlatmada getirilen $\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanyşygy giň gerimde XX asyryň otuzynjy – altmyşynjy ýyllarynda Ýewropanyň esasy gidrawliki ylmy mekdeplerinde takyk ylmy-barlag tejribe derňewleri geçirildi. Olaryň başlangyjy otuzynjy ýyllarda Germaniýada geçirilen I. Nikuradzeniň tejribeleridir.

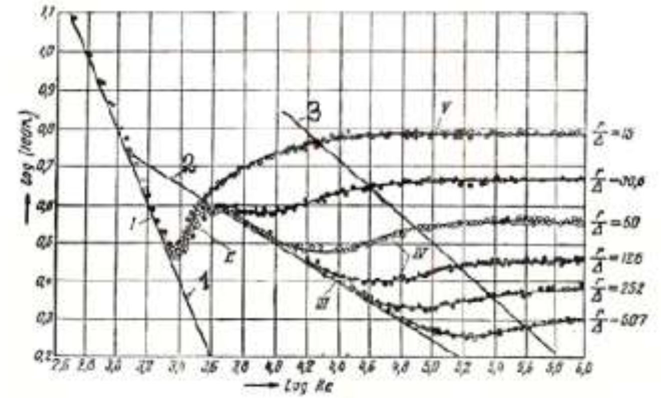
Nikuradzeniň tejribeleri dürli diametrli emeli büdür-südürlikli latun turbalarda geçirildi. Emeli büdür-südürlikler kwars çägeleriniň saýlanan deňölçegli fraksiýalaryny turbanyň içki diwaryna ýelmemek usuly bilen döredildi. Onda turbanyň ekwiwalent büdür-südürligi $\Delta_{ekw} = \Delta = \frac{\bar{d}i}{2}$ deň bolar. Bu ýerde $\bar{d}i$ kwars çägeleriniň saýlanan fraksiýalarynyň diametri. Tejribede alynýan d sortumentli turba üçin gidrawliki ýylmanak içki diwarlaryň alty görnüşini synagdan geçirip bolýar.

Derňelýän turbanyň uzynlygy gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy Darsiniň formulasy boýunça kesgitlenildi, ýagny:

$$\lambda = \frac{2gd}{l} \cdot \frac{h_e}{\vartheta^2} = \frac{2gd}{l\vartheta^2} \cdot (\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}) \qquad (4.58)$$

λ ululyk üçin getirilen (4.58) belgili aňlatmadan tejribelerde gorizantal, deňölçegli hereketli, basyşly suw akymly turbalaryň ulanylýandygy belli bolýar.

I.Nikuradzeniň geçiren tejribeleriniň netijesi $\lambda = f(Re; \frac{r}{d})$ baglanşygyň ok boýunça lg(100 λ) we kese ok boýunça lg Re koordinatlarynda degişli grafiki şekiller görnüşinde (4.10-njy surat) getirlen.



4.10-njy surat

I.Nikuradzeniň $\lambda = f(Re; \frac{r}{\Delta})$ tejribe derňewleriniň netijesi

I.Nikuradzeniň tejribe grafiki turbageçirijiler gidrawlikasynda nusgawy usulýet grafikleri derejesinde kabul edildi. Bu grafikler turbalar üçin $\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanşygyň hakyky görnüşlerini Re=0-3·10^6 $\Delta_{ekw} = 0{,}0625 - 2{,}5$mm, d=50-300mm çäklerde takyk kesgitledi. Nikuradzeniň tejribeleriniň we grafiklerniň esasy ylymy ähmiýeti, turbageçirijileriň basyşly akymlarynyň bäş görnüşli biri-birinden tapawutlanýan gidrawliki garşylyk zolaklarynyň bolýandygy subut edildi hem-de bu zolaklaryň çäkleri we esasy gidrawliki görkezileri takyk kesgitlenildi.

I. laminar garşylyk zolagy. Bu zolakda Re=0-2000 aralyklarda üýtgeýär, ähli turbalaryň we büdür-südürlikleriň $\lambda = f(\mathrm{Re}; \frac{r}{\Delta})$ grafigi 1 ýapgyt çyzyk bilen gabat gelýär. 4.5-nji bölümde beýan edilşi ýaly bu zolakda turbanyň büdür-südürligi onuň sürtülme garşylygyna we naporynyň ýitgisine täsir etmeýär. λ-niň ululygy $\lambda = f(\mathrm{Re})$ balaşyk boýunça kesgitlenilýär. Turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýentini aşakdaky Puazeýliň formulasy boýunça kesgitlenilär:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}} \qquad (4.34)$$

II. Turbulent hereket kadasyna geçiş zolagy. Bu zolagda Re=2000-4000 ululykda üýtgeýär. Δ_{ekw} we d ululyklar λ koeffisiýentiň ululygyna täsir etmeýärler. Bu zolagyň gidrawliki häsiýetnamalary ujypsyz çäklerde üýtgeýändirler hem-de durnuksyzdyrlar. Şonuň üçin ikinji garyşyk zolagynyň ylmy-praktiki ähmiýetiniň talap ediljek derejesi has aşadyr hem-de hasaplama praktikasynda gaty seýrek ulanylýar.

III. Gidrawliki ýylmanak sürtülme garşylykly zolak. Bu zolak turbulent hereket kadaly başlangyç zolakdyr. 4.8-nji suratda bu zolak 2 ýapgyt çyzygyň ugrynda $\frac{r}{\Delta}$ görkezijä baglylykda hem-de onuň minimal ululygynda tamamlanýar. Onuň esasy aýratynlygy diwarýaka laminar gatlagyň δ galyňlygy turbageçirijiniň Δ_{ekw} ekwiwalent büdür-südürligiden uludyr, $\delta > \Delta_{ekw}$. Bu zolakda Re=2000 (4000) -$1 \cdot 10^5$ çäklerde üýtgeýär. Re sanynyň ululygy bilen laminar gatlagyň galyňlygy kiçelýär we deňölçegsiz büdür-südürlikler tüweleýdöreme hem-de turbulent garylma proseslere täsir edip başlaýar. Umuman, bu ýylmanak garşylyk zolagynda $\lambda = f(\mathrm{Re})$

baglanşyk esasynda kesgitlenilýär.

Gidrawliki hasaplamalarda ýylmanak sürtülme garşylykly turbageçirijileri gidrawliki sürtülme koeffisiýentleriniň ululygy P.Blaziusyň hasaplama formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\mathrm{Re}^{0,25}} \tag{4.59}$$

Şeýlelikde III gidrawliki garşylyk zolakda F.A.Şewelewiň formulasy takyk netijeleri berýär:

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{\mathbf{0,25}}{\mathbf{Re}^{\mathbf{0,226}}} \tag{4.60}$$

IV. Gidrawliki ýylmanak garşylykdan büdür-südür garşylagy geçiş zolagy, 4.8-nji suratda bu zolak 2 we 3 ýapgyt çyklaryň aralygynda $\frac{r}{\Delta}$ gatnaşygynyň kiçi ululyklarynda döräp başlaýar. Turbulent hereketiň ýylmanakdan büdür-südür garşylyga geçiş zolagynyň esasy aýratynlygy $\delta \approx \Delta_{ekw}$. özara deňdirler. Bu diýildigi, turbanyň büdür-südürlik görkezijisiniň akymyň gidrawliki sürtülme garşylygyny döretmek prosesini doly derejede gatnaşýandygynyň beýanydyr. Diýmek,

$\lambda = f(\mathrm{Re}; \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanşygyň iki agzasy deň derejede gidrawliki sürtülme koeffisiýentiň ululygyny kesgitlemelidirler

V. Garşylykly zolakda Re=$1\cdot10^4$-$6\cdot10^5$ çäklerde üýtgeýär.

Gidrawliki hasaplamalarda basyşly turbageçirijileriň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy esasan A.D.Altşulyň uniwersal formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$\lambda = 0,11\ \left(\frac{\Delta_{ekw}}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0,25} \tag{4.61}$$

Reýnoldsyň sanynyň ýokary ululykdarynda ($1\cdot10^5<Re<6\cdot10^5$) Konakowyň formulasyny ulanmaklyk amatly hasaplanylýar:

$$\lambda = \frac{1}{(1{,}81\cdot \lg Re - 1{,}5)^2} \qquad (4.62)$$

VI. Doly büdür-südür garşylykly zolak. Bu garşylyk zolagy ýokary derejeli turbulentligiň hem-de büdür-südürligiň esasy kesgitleýji täsirleri bilen tapawutlanýar. Reýnoldsyň sany bu zolakda $1{,}25\cdot10^4<Re<3\cdot10^6$ çäklerde üýtgeýär hem-de otnasitel ýylmanaklygyň $\frac{r}{\Delta} \leq 15$ ululygyndan başlap gidrawliki sürtülme garşylygyň ululygyna täsir etmeýär. bu zolak üçin $\lambda = f(\frac{\Delta_{ekw}}{d})$ esasy kesgitleýji baglanyşykdyr. Şeýlelikde bu garşylyk zolagynda laminar gatlagyň galyňlygy hasaba alarlyk ululyklardan has kiçelýär. Diňe VI garşylyk zolagynda naporyň uzynlyk sürtülme ýitgisi orta tizligiň kwadratyna göni proporsioanaldyr ýagny $h_e=f(v^2)$.

Gidarwliki hasaplamalarda doly büdür-südür garşylykly turbageçirijileriň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy F.A.Şewelewiň formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$v \geq 1{,}2 \text{m/sek bolanda } \lambda = \frac{0{,}021}{d^{0{,}3}} \qquad (4.63)$$

$$v < 1{,}2 \text{m/sek bolanda} \qquad \lambda = \left(\frac{1{,}5\cdot10^{-4}}{d} + \frac{1}{Re}\right)^{0{,}3} \qquad (4.64)$$

Şeýlelikde, soňky bäşinji garşylyk zolagyň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygyny Prantdal-Nikuradzeniň formulasy boýunça kesgitlemeklik maslahat berilýär:

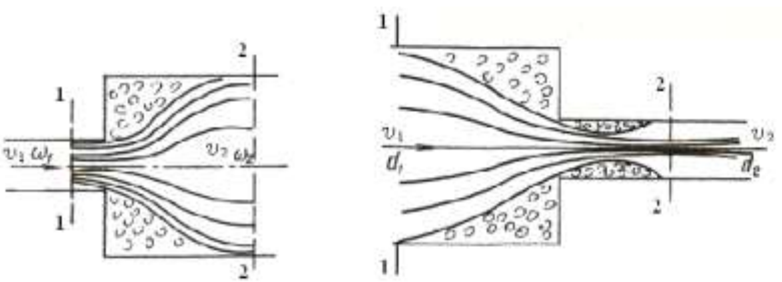
$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{\mathbf{1}}{\left(\mathbf{1{,}74+2\lg\frac{d}{2\cdot\Delta}}\right)^{\mathbf{2}}} \qquad (4.65)$$

XX-asyryň (50-60)-njy ýyllarynda öňki SSSR döwletiniň baş ylmy-barlag institutynda I.A.Isaýewiň, G.A.Muriniň, F.A.Şewelewiň we A.D.Altşulyň ýolbaşçylygynda täze materilallara soňky turbaöndürme tilsimatlara esaslanyp öndürilýän senagat turbalaryň gidrawliki sürtülme koeffisiýentleri $\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanşyk esasynda giň gerimde derňeldi. Bu tejribe derňewleriň netijesi täze polat turbalaryň mysalynda 4.9-njy suratda getirilýär. Bu we oňa meňzeş köp görnüşli beýleki senagat turbalary üçin alynan grafikleriň esasy aýratynlygy III gidrawliki ýylmanak garşylykly zolagyň Reýnoldsynyň sanynyň ulylygy boýunça kesgitlenýän çäkleriň mese-mälim derejede ulalmagydyr hem-de grafikleriň birsydyrgyn tertipde **λ**-nyň san ululygy boýunça kiçelmegidir. Bu ýagdaý turbalaryň ýasalyş tilsimatlarynyň ýokary netijeligi sebäpli büdür-südürlikleriň absolýut we ekwiwalent ululyklarynyň kiçelmegindedir. Başgaça aýdylanda turbalaryň hakyky büdür-südürlik görkezijileri gidrawliki ýylmanak diwaryň garşylyk döredijilik derejesinde turbageçirijileriň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygyna täsir edýärler.

4.7 Ýerli garşylyklar we naporyň ýitgileri

Ýokarda, §4.1-de umumy görnüşde, ýerli garşylyklaryň we ýitgileriň döreýiş mehanizmi hem-de olaryň kesgitlenilşiniň umumy usuly seredildi. Indi turbageçirijiler ulgamynda köp duş gelýän ýerli garşylyk koeffisiýentleriň we olarda döreýän naporyň ýitgileriniň ululyklaryň kesgitlenilşine seredeliň.

Turbageçirijiniň birden giňelme garşylygy, kiçi 4.10-njy a-suratda şekillendirilşi ýaly ω_1 kesikli we d_1 diametrli kiçi turba bilen ω_2 kesikli we d_2 diametrli uly turbanyň sepleminde, 1-1 we 2-2 tekiz kesikleriň aralygynda döreýändir.



4.11-nji surat

Turbageçirijileriň birden giňelme we birden daralma garşylygy

Tejribeden görnüşi ýaly, akymyň hereket ugryna hem-de onuň keseligine ýerli tizligiň we gidrodinamiki basyşyň birden üýtgemeleri zerarly, turbanyň giňelýän zolagy bilen haýal giňelýän akymyň aralygynda halka görnüşli tüweleý şekilli goşmaça hereket döreýär. Bu goşmaça akymyň döremesi onyň hereketi hem-de goşmaça döreýän sürtülme garşylyklary ýeňip geçmeklik, akymyň naporynyň birden giňelme $h_{b.g.}$ ýitgisiniň hasabyna bolup geçýär. Bu $h_{b.g.}$ naporyň ýitgisiniň ululygy Borduň formulsay boýunça kesgitlenilýär:

$$h_{b.g} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \qquad (4.66)$$

Bu ýerde

v_1 we *v_2* –degişlilikde 1-1 we 2-2 kesiklerde akymyň orta tizlikleri.

Borduň formulasy naporyň birden giňelme ýitgisiniň teoremasy derejesinde şeýle okalýar: akymlaryň naporynyň birden giňelme ýitgisi ýitýän tizlik naporynyň ululygy görnüşinde kesgitlenilýär. Dogurdan hem v_1-v_2≠ Δv ýitýän tizlikdir.

(4.66) belgili aňlatmada, akymyň mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesini $\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2$ ýa-da $d_1^2 v_1 = d_2^2 v_2$ görnüşlerde ulanyp, $h_{b.g.}$ ýitgini aýratynlykda v_1 ýa-da v_2 orta tizlikleriň ululyklary boýunça kesgitläp bolar hem-de akymyň birden giňelme ýerli gidrawliki garşylygynyň $\zeta_{b.g}$ koeffisiýenti üçin formula alynýar:

$$\mathbf{h_{b.g}} = \left(\mathbf{1} - \frac{\boldsymbol{\omega_1}}{\boldsymbol{\omega_2}}\right)^2 \frac{\boldsymbol{\vartheta^2}}{\mathbf{2g}} = \left(\mathbf{1} - \frac{\mathbf{d_1}}{\mathbf{d_2}}\right)^2 \frac{\boldsymbol{\vartheta^2}}{\mathbf{2g}} \qquad (4.67)$$

$$\mathbf{h_{b.g}} = \left(\frac{\boldsymbol{\omega_2}}{\boldsymbol{\omega_1}} - \mathbf{1}\right)^2 \frac{\boldsymbol{\vartheta_2^2}}{\mathbf{2g}} = \left(\frac{\mathbf{d_1}}{\mathbf{d_2}} - \mathbf{1}\right)^2 \frac{\boldsymbol{\vartheta_2^2}}{\mathbf{2g}} \qquad (4.68)$$

Bu ýerde:

$$\zeta_{b.g} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \frac{\vartheta^2}{2g} = \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)^2 \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (4.69)$$

$$\boldsymbol{\zeta_{b.g}} = \left(\frac{\boldsymbol{\omega_2}}{\boldsymbol{\omega_1}} - \mathbf{1}\right)^2 \frac{\boldsymbol{\vartheta_2^2}}{\mathbf{2g}} = \left(\frac{\mathbf{d_1}}{\mathbf{d_2}} - \mathbf{1}\right)^2 \frac{\boldsymbol{\vartheta_2^2}}{\mathbf{2g}} \qquad (4.70)$$

Elbetde (4.67) we (4.68) aňlatmalarda kesgitlenilen $h_{b.g}$ hem-de (4.69) we (4.70) aňlatmalarda kesgitlenilen $\zeta_{b.g}$ ululyklar özara deň ululyklardyr.

Turba geçirijiniň birden daralma 4.10-njy b-suratda şekillendirlişi ýaly, ω_1 kesikli we d_1 diametrli uly hem-de ω_2

kesikli we d_2 diametrli kiçi turbalaryň sepleminde 1-1 we 2-2 tekiz kesikleriň aralygynda döreýär.

Bu ýerli garşylygyň we ýitginiň döreýiş mehanizmi ýokarda beýan edilen birden giňelme garşylyga meňzeşdir.

Turbageçirijileriň birden daralma ýitgisiniň koeffisiýenti $\zeta_{b.d}$ $d_2<0,5d_1$ şertlerde I.Ý.Idelçikiň formulasy boýunça kesgitlenýär.

$$\boldsymbol{\zeta_{b.d} = 0,5\left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right)} \qquad (4.71)$$

Eger-de $d_2<0,5d_1$ bolanda A.D.Altşulyň formulasyny ulanmaklyk has takyk netijäni berer:

$$\boldsymbol{\zeta_{b.d} = \left(\frac{1}{0,57+\frac{0,043}{1,1-\frac{d_2^2}{d_1^2}}} - 1\right)^2} \qquad (4.72)$$

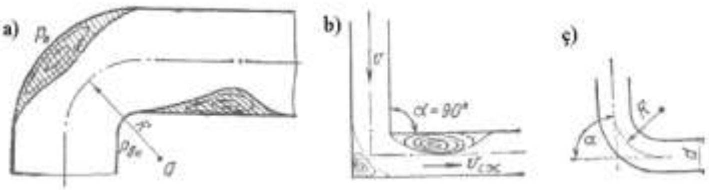
Aşakda, 4.2-nji tablisada turbageçirijileriň birden daralma ýitgisiniň gidrawliki garşylyk koeffisiýentiniň ululyklary Weýsbahyň tejribe arkaly alan netijeleri hököminde getirilýär.

4.2-nji tablisa

$\frac{d_2}{d_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\zeta_{b.d}$	0,5	0,49	0,46	0,43	0,4	0,35	0,29	0,22	0,14	0

Howuza (uly gab, uly turba) çatylan turbageçirijä akymyň girme ýitgisiniň koeffisiýenti ζ_g (4.71) belgili aňlatma boýunça akymyň birden daralma garşylygy görnüşinde kesgitlenilýär. Biziň mysalymyzda $d_2<<d_1$, $d_2\approx 0$ şertlere laýyklykda, $\zeta_g=0,5$ hemişelik ululyk görnüşinde kabul edilýär. Eger-de turba girme zolak emaýly öwrüm görnüşinde ýasalan bolsa, bolar $\zeta_g=0,2$

Turbageçirijileriň öwürimleri akymyň ugryny α=0-180° burç ululyklara üýtgedip bilerler hem-de standart tirsek (30°, 45°, 90°) şekilli bolup bilerler 4.11-nji suratlarda turbalaryň öwrümleri şekillendirlen



4.12-nji surat

Turbageçirijileriň α=90° öwrümleri a) emaýly öwürim b) birden üýtgeýän öwrüm
ç) egreldilen ýa-da standart tirsek.

Akymlaryň hereket ugurlary üýtgänd, olara goşmaça döreýän merkezden daşlaşýan massa güýçleri täsir edýärler. Bu güýçler öwrüm akymlaryny diformirleýärler, ýerli tizlikler we basyşlar üýtgeýärler hem-de akymda goşmaça spiral we tüweleý hereketleri döreýärler. Öwürümlerde naporyň ýerli ýitgisi Weýsbahyň nusgawy formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$h_{ö} = \zeta_{ö} \frac{\vartheta^2}{2g} \tag{4.73}$$

Bu ýerde:

$\zeta_{ö}$-öwrüleriň ýerli garşylyk koeffisiýenti, onuň ululygy tejribe derňewleriň netijesinde kesgitlenilýär.

Emaýly öwrümleriň gidrawliki garşylyk koeffisiýentiniň $\zeta_{eö}$ ululygy turbanyň d diametriniň öwrümiň R radiusyna bolan gatnaşygyna baglylykda kabul edilýär. $\zeta_{eö}$ koeffisiýentiniň ululyklary 4.3-nji tablisada getirilýär.

4.3-nji tablisa

$\frac{d}{R}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\zeta_{eö}$	0,14	0,15	0,16	0,18	0,21	0,24	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98

Turbalaryň birden üýtgeýän öwrümleriniň ýerli garşylyk koeffisiýentiniň $\zeta_{bö}$ ululygy öwrüm burçynyň α ululygyna baglylykda kabul edilýär. $\zeta_{bö}=f(\alpha)$ baglanşygyň baglanşygyň ululyklary 4.4-nji tablisada getirilýär.

4.3-nji tablisa

α, gradus	30	40	50	60	70	80	90
$\zeta_{bö}$	0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,0

Standart ýa-da egreldilen tirsekleriň gidrawliki garşylyk koeffisiýenti $\zeta_t=f(\alpha, \frac{d}{R}, \lambda)$ baglanşyk boýunça, tejribe derňewleriniň netijesinde alynan formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\zeta_t^{90^o} = [0{,}2 + 0{,}001(100)^8]\sqrt{\frac{d}{R}} \qquad (4.74)$$

Tirsek öwrümleriň α burçy 90°-dan tapawutly ululyklarda bolanda, ýerli garşylyk koeffisiýentiniň ululygy aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

$$\boldsymbol{\zeta_T^{\alpha} = \zeta_t^{90^o} \cdot K} \qquad (4.75)$$

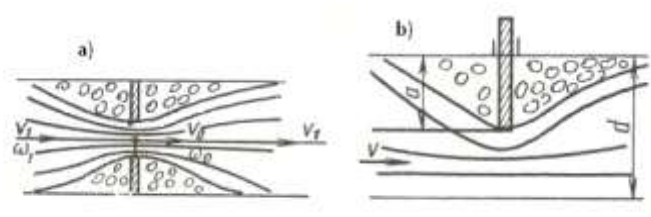
Bu ýerde

K-tirsegiň d diametriniň hem-de öwrümiň R radiusynyň ululyklarynyň gatnaşygyna baglylykda alynýan emaýlaşdyryş koeffisiýenti, onuň ululygy $K=0{,}05+0{,}2\frac{d}{R}$ (4.76) formula boýunça kesgitlenilýär.

Difragmalar ýa-da şaýbalar basyşly suwuklyk ýa-da gaz akymlarynyň göwrüm mukdarynyň ululygyny üznüksiz kadada ölçemek we ýazga geçirmek üçin ulanylýan desganyň gönümel akymda ýerleşdirilýän enjamydyr. Onyň maksady akymda “meýilanamalaşdyrylýan” gidrawliki garşylygy we naporyň ýitgisini döretmekdir (3.8-nji surat) Diafragmalar ýörite taýýarlanylýan metall disklerinde deşilen merkezi sim materialy deşiklerdir. (4.12-nji surat). Olaryň garşylyk koeffisiýenti ζ_d geşigiň ω_o meýdanynyň akymyň janly ω kesigine bolan gatnaşygynyň ululygyna baglylykda kesgitlenilýär. 4.5-nji tablisada diafragmalaryň ζ_d gidrawliki garşylyk koeffisiýentiniň ululyklary getirilýär.

4.5-nji tablisa

$\frac{\omega_0}{\omega}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_d	245	51,5	18,2	8,25	4,0	2,0	0,97	0,42	0,13	0



4.13-nji surat

Ýapyjylar (zadwižkalar, wentiller, zatworlar) akymlaryň mukdarlaryny sazlaýan turbageçiriji armaturalarydyr (4.13-nji b-surat). Olaryň gidrawliki garşylyk koeffisiýentleri akymyň ýapyk böleginiň h beýikliginiň, turbanyň d diametrine bolan gatnaşygynyň ululygyna baglylykda kesgitlenilýär. 4.6-njy tablisada zadwižkalaryň gidrawliki garşylyk koeffisiýentleriniň ζ_z ululyklary $\frac{h}{d}$ gatnaşyga baglylykda getirlen.

4.6-njy tablisa

$\frac{h}{d}$	0,875	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
ζ_z	97,8	35	10	4,6	2,06	0,98	0,44	0,17	0,06	0,05

Beýleki köp görnüşli turbageçirijiler armaturalarynyň, fason bölekleriniň, gurluşlaryň, enjamlaryň gidrawliki garşylyk koeffisiýentleriniň ululyklary degişli gidrawliki soragnama kitaplarynda getirilýärler.

Meseleler we mysallar

4.1. Içki diametri d=100 mm bolan turbada temperaturasy $t=20^0C$ suw akýar. Suwuň akýan mukdary Q=20 dm^3/sek deň bolanda suwyň hereketiniň kadasyny kesgitlemeli?

4.2. Içki diametrleri: 1 mm, 50 mm, 100 mm, bolan turbalardan $t=20^0C$-däki suw akanda suwyň kritiki tizligini kesgitlemeli?

4.3. Diametri d=150 mm turbadan şepbeşikligi BY=5 akýan nebititiň kritiki tizligini kesgitlemeli?

4.4. Kesigi gönüburçly 300x500 mm^2 howa çalşyryjy kanalda howa hereket edýär. Howanyň mukdary Q=5400 m^3/sag. Howanyň şepbeşikligi 0.018 santipauza we udel agyrlygy 1.164 kG/m^3 bolanda hereketiň kadasyny kesgitlemeli?

4.5. Diametri d=2 m bolan tüsse äkidiji turbadan akýan gazyň Reýnolds sanyny kesgitlemeli? Temperaturasy $t=0^0C$-ä deňeşdirilende we basyşy 760 mm.sim.süt deň bolanda göwrüm mukdary Q=9 m^3/sek bolar.

4.6. Uzynlygy l=2.6 m, içki diametri d=100 mm nebit geçiriji turbadaky naporyň ýitgisini hasaplamaly? Akýan nebitiň şepbeşikligi 1.2 stoks, mukdary Q=12 dm^3/sek-a deň.

4.7. Uzynlygy l=1200 m diametri d=76 mm suw geçiriji turbadan Q=4 dm^3/sek mukdardaky suw akýar. Turbanyň ekwiwalent büdür-südürligi 0.14 mm-e deň. Naporyň ýitgisini hasaplamaly?

4.8. Diametri d=152 mm, uzynlygy l=2100 m bolan turbadan 2.9 m/sek orta tizlik bilen nebit akýar. Nebitiň şepbeşikligi 0.8 stoksa deň. Naporyň ýitgisini kesgitlemeli?

4.9. Uzynlygy 870 m, diametri d=76 mm polat benzi geçiriji turbadan Q=19500 l/sag mukdardaky benzin akýar. Benziniň şepbeşikligi 0.64 s.st. turbanyň ekwiwalent büdür-südürligini 0.14 mm-e deň kabul edip naporyň ýitgisini kesgitlemeli?

4.10. Diametri d=100 mm bolan polat turbanyň ekwiwalent büdür-südürligini synag esasynda kesgitlemek maksady bilen 4.6 m uzynlyk aralygynda naporyň ýitgisi ölçenilen. Suw geçiriji turbadan 4710 dm^3/min suw akdyrylanda bellenilen aralykda naporyň ýitgisi 7.08 metre deň bolýar. Ekwiwalent büdür-südürligini hasaplamaly?

4.11. Uzynlygy 1300 m, diametri 76 mm bolan suw geçiriji turbadan 7.3 dm^3/sek suw akdyrylanda naporyň ýitgisini kesgitlemeli? Suw geçiriji turbada 4 sany normal wentelden; bir sorujy klapandan; bir ters klapandan; 3 sany 45^0 öwrümli tersekden ybarat bolan ýerli garşylyklar bar. Ýerli garşylyklaryň umumy naporyň ýitgisiniň näçe bölegini düzýändigini hasaplamaly? Turbanyň ekwiwalent büdür-südürligi 0.14 mm-e deň.

5. Turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamalary

5.1. Turbageçirijileriň umumy häsiýetnamalary we görnüşleri

Turbageçirijiler gidrawliki akdyryjy esasy görnüşidir. Olar suw, nebiti, gazy suwuk nebir önümlerini, howany we ş.m, turbalar arkaly akdyrmak üçin niýetlenilendir.

Turbageçiriji ulgamlarda akymlary hereketlendiriji güýçler daşky basyş ýa-da suwuklygyň hususy agyrlyk güýçleridir. Daşky basyş güýçleri nasoslaryň, kompressorlaryň kömegi bilen döredilýärler ýa-da turbageçirijiniň başdaky we ahyrky gidrostatiki naporlaryň tapawudy bolup bilerler. Basyşly turbageçirijilerde başlangyç hereketlendiriji napor, turbageçirijiniň pýezometriki çyzgysynyň şekilinne laýyklykda, naporyň gidrawliki ýitgilererini ýeňip geçmek üçin sarp edilýär.

Turbageçirijileriň esasy gidrawliki häsiýetnamalary aşakdakylardyr:

1. Turbageçirijiniň diametri, d;
2. Turbageçiriji geçirijilik ukyby ýa-da onuň akymynyň mukdary Q;
3. Turbageçirijide akymyň orta tizligi ϑ;
4. Turbageçirijiniň başky we ahyrky naporlary, H_1 we H_2;
5. Turbageçirijiniň naporynyň umumy h_f uzynlyk h_e we $h_ý$ ýerli ýitgileri hem-de i gidrawliki eňňitligi.

Turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamalarynyň esasy maksady olaryň gidrawliki häsiýetnamalarynyň ululyklaryny häzirkizaman tilsimat we tehniki ykdysady talaplara laýyklykda kesgitlemelidir.

Turbageçirijiler aşakdaky alamatlary boýunça tapawutlanýarlar:

1. Tilsimat niýetlenilişi boýunça;

- Suw geçirijileri;
- Nebit geçirijileri;
- Gaz geçirijileri;
- Howa geçirijileri we ş.m.

2. Akymlary hereketlendiriji güýçleriň görnüşleri boýunça;

- Basyşly ýa-da naporly turbageçirijiler;
- Basyşsyz ýa-da özi akýan turbageçirijiler.

3. Plan ýa-da shematiki şekili boýunça;

- Ýönekeý ýa-da hemişelik diametrli we mukdarly bir bölekden (uçastokdan) ybarat bolan turbageçirijiler;
- Çylşyrymly ýa-da iki we ondan köp, dürli uzynlykly, diametrli hem-de mukdarly bölekden (uçastokdan) ybarat bolan turbageçirijiler;
- Deşikli ýa-da akymyň mukdaryny ýol ugruna paýlaýan turbageçirijiler;

3.1. Çylşyrymly turbageçirijileriň özara birleşdiriş shemalary boýunça:

- Yzygiderli birleşdirilen turbageçirijiler;
- Parallel birleşdirilen turbageçirijiler;
- Kombinirlenen ýa-da yzygiderli hem-de parallel birleşdirilen turbageçirijiler;
- Turbageçirijiler şertleri (şahaly ýa-da halkama-halka birleşdirilen).

4. Turbageçirijiniň kese kesiginiň geometriki şekili boýunça;

- Tegelek turbageçirijiler (turbaly geçirijiler);
- Gönüburçlyk şekilli turbageçirijiler (toneller, kiçi köpriler).

5. Turbageçirijiniň öllenýän perimetriniň şekili boýunça;

- Doly doldurylan ýa-da doly perimetri boýunça doldurylan turbageçirijiler;
- Bölekleýin doldurylan ýa-da akymy erkin üstli turbageçirijiler.

6. Naporyň umumy h_f ýitgisiniň düzümi boýunça:

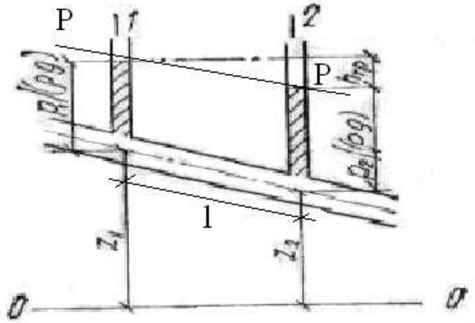
- Gysga ýa-da h_f naporyň umumy ýitgisiniň düzümi deň derejede h_e uzynly we $h_ý$ ýerli ýitgilerden ybarat bolan turbageçirijileri, olarda $h_f = h_e + h_m$;
- Uzyn (magistral) ýa-da h_f naporyň umumy ýitgisiniň düzümi esasan h_e uzynlyk ýitgiden ybarat bolan turbageçirijiler, olarda $h_f \approx 1.1\ h_e$ (1.1-ýerli ýitgileri hasaba alýan koeffisiýent).

7. Hereketlendiriji basyşy döredýän ulgamlaryň görnüşleri boýunça:

- Nasosly turbageçirijiler;
- Kompressorly turbageçirijiler;
- Başdaky naporly rezerwuarly turbageçirijiler;
- Başdaky we naporly rezerwuarly turbageçirijiler.

5.2. Ýönekeý naporly turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamalary we meseleleri

Ýokarda bellenilişi ýaly, ýönekeý turbageçirijiniň gidrawliki hasaplamasynyň esasy maksady, onuň berlen geçirijilik ukybyny kanagatlandyrýan diametriniň hem-de naporynyň ýitgisiniň ululyklaryny kesgitlemekdir.



5.1-nji surat

Ýönekeý naporly, durnukly we deňölçegli hereketli turbageçirijiniň gidrawliki häsiýetnamalaryny suratlandyrýan, 5.1-nji çyzgyda getirilen mysala seredeliň. Alynan 0-0 gorizontal umumy deňeşdirme tekizligine görä, turbageçirijiniň başlangyç 1 we ahyrky 2 merkezi nokatlarynyň berlen geodeziki z_1 we z_2 belgilerine hem-de turbageçirijiniň l aralygynyň soňunda akyma täsir edýän p_2 gidrodinamiki basyşyň ululygyna laýyklykda turbageçirijiniň Q geçirijilik ukybyny üpjün edýän d diametriniň, h_f naporyň ýitgisiniň hem-de H_1 başlangyç naporynyň ululyklaryny kesgitlemeli.

Ýokarda getirilen z_1, z_2, P_2, Q, l berlen hem-de d, h_f, H_1 kesgitlenilmeli ululyklaryň arabaglanyşygyny beýan edýän Bernulliniň deňlemesine ýüzleneliň. Bu deňlemäni turbageçirijiniň

1 we 2 nokatlaryndan geçirilen kesikler üçin 0-0 deňeşdirme tizlige görä ýazalyň:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} + h_f \qquad (5.1)$$

Akymyň tizlik naporlarynyň deňligini göz öňünde tutyp (5.1) belgili deňlemäni aşakdaky görnüşde ýazyp bolar.

$$\left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g}\right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g}\right) = h_f \qquad (5.2)$$

Bu ýerde

$$\left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g}\right) = H_1, \quad \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g}\right) = H_2 \qquad (5.3)$$

H_1, H_2 – turbageçirijiniň 1 we 2 kesiklerinde doly gidrostatiki naporyň ululyklary, onda (5.2) deňleme aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$H_1 - H_2 = h_f \qquad (5.4)$$

Ýa-da

$$H_1 = H_2 + 1.1 \cdot h_e \qquad (5.5)$$

Turbageçirijidäki naporyň h_e uzynlyk ýitgisiniň ululygyny Darsiniň formulasy boýunça aňladyp (5.5) belgili deňleme aşakdaky görnüşe geler:

$$H_1 = H_2 + 1.1 \cdot \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (5.6)$$

Alnan (5.6) belgili deňleme ýönekeý naporly turbageçirijiniň gidrawliki hasaplamasynyň esasy formulasydyr. Bu formula ýönekeý naporly turbageçirijiniň başky hereketlendiriji naporyň ululygyny kesgitlemek üçin ulanylýar hem-de öz düzüminde turbageçirijiniň esasy gidrawliki häsiýetnamalaryny jemleýär.

Ýönekeý naporly turbageçirijiniň d diamatri akymyň mukdarynyň aňlatmasyndan (3.2 bölüme seret) kesgitlenilýär, ýagny

$$Q = \omega \cdot \vartheta_n = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \vartheta \qquad (5.7)$$

Ýa-da

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \vartheta_n}} \qquad (5.8)$$

Bu ýerde

ϑ_n- akymyň orta normatiw tizligi.

Naporly turbageçirijilerde akymyň orta normatiw tizliginiň ululygy Türkmenistanda hereket edýän normatiw resminamalara (TGN, GN we D,TDUN we ş.m.) laýyklykda, tilsimat nukdaý-nazardan rugsat edilýän, tehniki-ykdysady nukdaý nazardan amatly hasaplanylýan çäklerde kabul edilýär. Mysal üçin, naporly suw geçirijilerinde $\vartheta_n = 1 \div 4$ m/sek, nebit geçirijilerinden $\vartheta_n = 1.5 \div 4$ m/sek, gidrohereketlendiriji ulgamlaryň turbalaryndan $\vartheta_n = 2 \div 6$ m/sek, magistral gaz geçirijilerinde $\vartheta_n = 10 \div 50$ m/sek çäklerde kabul etmeklik maslahat berilýär.

Şeýlelikde, (5.8) belgili aňlatma boýunça kesgitlenilen d -nyň ululygy kabul edilen. Turbanyň TDS-nyň sortamentine laýyklykda tegeleklenýär hem-de turbadaky akymyň hakyky tizligi kesgitlenilýär.

$$\vartheta = \frac{4Q}{\pi d^2} \qquad (5.9)$$

Gidrawliki hasaplamalarynyň indiki tapgyrlarynda turbageçirijiniň degişli sortament boýunça kabul edilen d diýametriniň hem-de (5.9) belgili aňlatma boýunça anyklanylan akymyň ϑ tizligi ulanylar.

Turbanyň kysymyna we içki diwarynyň hil ýagdaýyna 4.1-nji tablisadan onuň Δ absalýut hem-de Δ_{ekw} ekwiwalent büdür-südürlikleriniň ululyklary anyklanylmaly hem-de kabul edilmeli.

Ýönekeý turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy 4.5÷ 4.6-njy bölümlerde jikme-jik seredilen $\lambda = f(\mathrm{Re}; \frac{\Delta ekw}{\mathrm{d}})$ baglanyşyga laýyklykda kesgitlenilmelidir. Onuň üçin $Re = \frac{\vartheta \cdot d}{\gamma}$ formula boýunça Reýnoldsyň sanynyň ululygy kesgitlenilýär hem-de ony Re_{kr}= 2320 kritiki ululyk bilen deňeşdirip, akymyň hereket kadasy kesgitlenilýär. Eger-de $Re < Re_{kr}$ bolsa, onda akym turbulent kadada akar.

Lamiar hereket kadaly ýönekeý turbageçirijileriň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy Puazeýliň formulasy $\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$ boýunça kesgitlenilýär.

Turbulent hereket kadaly ýönekeý turbageçirijileriň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy, turbageçirijileriň içki diwarynyň we akymyň sürtülme garşylyk zolagynyň görnüşine laýyklykda hasaplanylýar. Turbageçirijileriň hakyky gidrawliki garşylyk zolagynyň görnüşi δ (akymyň diwarýaka laminar gutlagynyň galyňlygy,) (4....) formula boýunça kesgitlenilýär we Δ_{ekw} (turbanyň içki diwarynyň büdür-südürligi) ululyklaryň özara deňeşdirmesi netijesinde anyklanylýar. Eger-de $\delta > \Delta_{ekw}$ bolsa (gidraliki ýylmanak garşylyk zolagy), onda $\lambda = \frac{0.3164}{\mathrm{Re}^{0.25}}$ Blaziusyň $\delta \approx \Delta_{ekw}$ bolsa (ýylmanakdan büdür - südür garşylyga geçiş zolagy)
$\lambda = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{\mathrm{d}} + \frac{68}{\mathrm{Re}})^{0.25}$ Altşulyň hem-de $\delta < \Delta_{ekw}$ bolsa (doly büdür-südür garşylykly zolak) $\lambda = \frac{0.021}{\mathrm{d}^{0.3}}$ Şewelewiň formulalary boýunça kesgitlenilmelidir.

Şeýlelikde ýönekeý turbageçirijileriň (5.6) belgili esasy gidrawliki hasaplama formulasynyň akymyň esasy gidrawliki häsiýetnamalary derejesinde seredilýän ähli agzalary ylmy nukdaý-nazardan esaslandyryldy hem-de takyk kesgitlenildi.

Turbageçiriji ulgamlarynyň hususanda ýönekeý turbageçirijileriniň gidrawliki hasaplamalarynda olaryň ulanyş kadalaryny göz öňünde tutmak hem-de gidrawliki hasaplama usulyýetlerini häzirkizaman talaplara laýyklykda unifissirlemek maksady bilen, turbageçirijiniň uzynlyk sürtülme ýitgisiniň ululygyny kesgitleýän Darsiniň formulasyny turbulent kadanyň soňky doly büdür-südür garşylykly zolagy üçin aşakdaky üýtgeşmeleri göz öňünde tutyp ýazalyň. Orta we kiçi şepbeşikli suwuklyklaryň we gazlaryň basyşly turbageçiriji ulgamlarynda $\lambda = \mathrm{f}(\frac{\Delta_{ekw}}{\mathrm{d}})$ baglanyşyk boýunça kesgitlenilýän doly büdür-südür garşylyk zolagy has köp duş gelýändir. Köplenç halatlarda garşylyk zolagy kwadratly ýa-da awtomodel garşylyk zolagy hem diýilip atlandyrylýar. Bu atlar naporyň ýitgisiniň akymyň tizliginiň kwadratyna, $h_e = f(\vartheta^2)$, baglylygyny beýan edýän atlardyr.

Onda, darsiniň naporynyň uzynlyk ýitgisini kesgitleýän formulasynda $\lambda = \lambda_{\mathrm{kw}}$ hem-de (5.9) belgili aňlatmadan tizligiň ýerine $\vartheta = \frac{4Q}{\pi d^2}$ bahasyny goýup alarys:

$$h_e = 1.1 \cdot \frac{\lambda_{\mathrm{kw}} \mathrm{l}}{d} \cdot \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} = 1.1 \cdot \frac{8\lambda_{\mathrm{kw}}}{g\pi^2 d^5} lQ^2 = 1.1 S_0 lQ^2 \qquad (5.10)$$

Bu ýerde

$S_0 = \frac{8\lambda_{\mathrm{kw}}}{g\pi^2 d^5} -$ turbageçirijiniň udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygy. Bu ululyk ölçeglidir we akymyň mukdarynyň m^3/sek ölçeg birliginiň kwadratynyň ters ululygyna deň (sek/m^3) ölçeg birligi bardyr.

Degişli TDS-nyň sortament belgisi boýunça hasaba alynýan turbalaryň udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygy, onuň esasy gidrawliki häsiýetnamasy derejesinde turbalaryň pasportynda we degişli gidrawliki soragnama kitaplarynda getirilýär.

Turbalaryň udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygynyň ululygy turbanyň diametriniň ululygynyň 5-nji derejesine ters proporsionaldyr, ýagny, $S_0=f(d^{-5})$. Diýmek, turbanyň d diametri iki esse üýtgedilse, onuň sürtülme garşylygy ýa-da akymyň naporynyň ýitgisi 32 esse uýtgeýändir. Görşümiz ýaly, beýleki deň şertlerde, turbageçirijiniň garşylygynyň hem-de naporynyň ýitgisiniň ululyklary esasan onuň diametrine baglydyr. Diýmek islendik akdyryjy ulgamyň turbalarynyň diametri, ulgamyň gurlyşyk-gurnama hem-de ulanyş işleriniň esasy baha emele getiriji görkezijisidir. Şonuň üçin $h_e = 1.1S_0lQ^2$ görnüşli (5.10) belgili formula turbageçirijiler gidrawlikasynyň 1-nji belgili formulasy hasaplanylýar.

Onda, ýönekeý turbageçirijiniň (5.6) belgili esasy gidrawliki hasaplama formulasy aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner:

$$H_1 = H_2 + 1.1S_0lQ^2 \qquad (5.11)$$

Soňky, (5.11) belgili aňlatmada $S_0l = S$ bilen bellenilse, onda S-turbageçirijiniň doly uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygy diýip atlandyrylýan gidrawliki görkezijini alarys hem-de soňky aňlatma aşakdaky görnüşe geler:

$$H_1 = H_2 + 1.1SQ^2 \qquad (5.12)$$

Şeýle-de, $S_0 = \frac{1}{K^2}$ bilen bellenilse, onda K-turbageçirijiniň mukdarynyň moduly ýa-da turbageçirijiniň mukdar häsiýetnamasy diýilip atlandyrylýan, mukdaryň ölçeg birligi bilen gabat gelýän hem-de turbageçirijiniň S_0 görkezijisi bilen deň derejede ulanylýan gidrawliki görkezijini alarys. Onda, ýönekeý turbageçirijileriň esasy gidrawliki hasaplama formulasy şeýlede ýazyp biliner:

$$H_1 = H_2 + 1.1 \cdot \frac{lQ^2}{K^2} \tag{5.13}$$

Aşakda, 5.1-nji tablisada suw, nebit hem-de gaz geçirijileri ulgamlarynda ulanylýan täze polat turbalaryň udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygynyň S_0 we mukdar häsiýetnamasynyň kwadratynyň K^2 ululyklary ($\lambda_{\mathrm{kw}} = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{\mathrm{d}})^{0.25}$ üçin) getirilýär. (5.13) belgili formula, hususanda onuň $h_e = \frac{1.1lQ^2}{K^2}$ görnüşli ikinji bölegi, ýapyk akabaly basyşly geçirijileriň naporynyň uzynlyk sürtülme ýitgisini kesgitlemek üçin ulanylýan ýörgünli formulalaryň biridir. Şonuň üçin bu formula turbageçirijiler gidrawlikasynda 2-nji belgili formula hasaplanylýar.

Ýönekeý turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamasynyň netijesi hökmünde onuň P-P pýezometriki çyzygy gurulýar (5.1-nji surat). P-P çyzyk ýokarda hasaplanylan H_1 hem-de berlen H_2 ululyklar boýunça gurulýar. Turbageçirijiniň islendik nokadynda onuň dik koordinaty akymyň doly gidrostatiki naporynyň ululygyny berer. Pýezometrik çyzygyň eňňitligi $i = \frac{(H_1 - H_2)}{l}$ akymyň gidrawliki eňňitligine deň bolar. Onuň ululygy boýunça kesgitlenilip bilinjek ululyklar, $H = h_f = h_e = il$, basyşly turbageçirijilerde hereketlendiriji naporyň akymda döreýän ýitgileri ýeňip geçmeklige sarp edilýänligini subut edýär.

Täze polat turbalaryň $\Delta_{ekw} = 0.1mm, \lambda_{\mathrm{kw}} = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{\mathrm{d}})^{0.25}$ udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygynyň S_0 we mukdar häsiýetnamalarynyň kwadratynyň K^2 ululyklary.

5.1-nji tablisa

Turbanyň diametri d, m	**Turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti λ**	**Turbageçirijiniň udel uzynlyk sürtülme garşylygy S_0, sek^2/m^6**	**Turbageçirijiniň mukdar häsiýetnamasynyň kwadraty K^2, m^6/sek^2**
0.10	0.0192	158.60	0.0063
0.15	0.0177	19.15	0.052
0.20	0.0164	4.21	0.238
0.25	0.0155	1.32	0.758
0.30	0.0148	0.504	1.984
0.40	0.0138	0.111	9.009
0.50	0.0130	0.0346	28.902
0.60	0.0124	0.0131	76.336
0.70	0.0120	0.00591	169.205
0.80	0.0116	0.00303	330.033
0.90	0.0113	0.00158	632.911
1.00	0.0110	0.00091	1098.901
1.20	0.0105	0.00035	2857.143
1.40	0.0101	0.00016	6250.000

5.3. Kwadratly däl garşylykly turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamalary

Praktikada turbageçirijili akdyryjy ulgamlaryň kwadratly däl sürtülme garşylykly ýa-da ýylmanak hem-de doly büdür-südür garşylyga geçiş zolaklarynda işleýän pursatlary köp gabat gelýändir. Bu ýagdaý hususanda sarp edijiler bilen baglanyşykly işleýän agyz suwuny, ýyladylan suwy hem-de gazy akdyrýan turbageçirijilerde ulanyş pursatlarynyň 70÷80%-inde ýüze çykýar. Şonuň üçin kwadratly däl garşylykly naporly turbalaryň gidrawliki hasaplamalary akymlaryň hakyky gidrawliki garşylyk kadalaryny we zolaklaryny hökmany derejede hasaba almalydyrlar. Şeýlelikde 4.5 we 4.6-njy bölümlerde nygtalyşy ýaly, turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti $\lambda = f(\mathrm{Re}, -\frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanyşyga laýyklykda, turbageçirijiniň S_0 we K gidrawliki görkezijileri bolsa diňe onuň d diametrine baglylykda kesgitlenilmän, eýsem turbageçirijidäki akymyň ϑ tizliginiň ululygynda göz öňünde tutmaly.

Onda (5.10) belgili, ýönekeý naporly turbageçirijide naporyň uzynlyk ýitgisi üçin ýazylan $h_e = 1.1 S_0 l Q^2$ görnüşli formulada $S_0 = \frac{8\lambda}{\mathrm{g}\pi^2 \mathrm{d}^5}$ baglanyşygy turbulent akymyň islendik garşylyk zolagy üçin ýazyp hem-de formulanyň sag tarapyny $\frac{\lambda_{\mathrm{kw}}}{\lambda_{\mathrm{kw}}}$ gatnaşyga köpeldip, aşakdaky uniwersal hasaplama formulany alarys:

$$h = 1.1 S_0 l Q_2 = 1.1 \frac{8\lambda}{\mathrm{g}\pi^2 \mathrm{d}^5} \cdot \frac{\lambda_{\mathrm{kw}}}{\lambda_{\mathrm{kw}}} l Q = 1.1 \frac{\lambda}{\lambda_{\mathrm{kw}}} \cdot \frac{8\lambda_{\mathrm{kw}}}{\mathrm{g}\pi^2 \mathrm{d}^5} l Q^2 = 1.1 \varphi \mathrm{S}_0 l Q^2 \quad (5.14)$$

bu ýerde

$\varphi = \frac{\lambda}{\lambda_{\mathrm{kw}}} -$ kwadratly däl garşylygyň ýa-da tizligiň düzediş koeffisiýenti ($h = f(\vartheta^n), n < 2$).

Onda, ýönekeý naporly turbageçirijiniň esasy gidrawliki hasaplama uniwersal formulasy aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$H_1 = H_2 + 1.1 \varphi \mathrm{S}_0 l Q^2 \quad (5.15)$$

5.2-nji bölümde bellenilişi ýaly, (5.15) belgili we ondan öňki formulalarda S_0 - turbanyň kwadratly garşylyk zolagy üçin kesgitlenilýän hem-de normatiw resminamalarda getirilýän gidrawliki görkezijidir. Eger-de kwadratly däl garşylygyň düzediş koeffisiýentiniň ululygyny Aldşulyň $\lambda_{\mathrm{kw}} = 0.11 (\frac{\Delta_{ekw}}{\mathrm{d}})^{0.25}$ hem-de $\lambda = 0.11 (\frac{\Delta_{ekw}}{\mathrm{d}} + \frac{68}{\mathrm{Re}})^{0.25}$ formulalaryny ulanyp kesgitlesek, onda:

$$\varphi = \frac{\lambda}{\lambda_{\mathrm{kw}}} = (1 + \frac{68\nu}{\vartheta \Delta_{ekw}})^{0.25} \quad (5.16)$$

Şeýle-de $\varphi -$ düzediş koeffisiýentiniň ululygyny Şewelýewiň tejribe derňewleriniň netijesinde alan formulasy boýunça kesgitläp bolar:

$$\varphi = \frac{1}{\vartheta^{0.2}} \quad (5.17)$$

Şewelýew (5.17) belgili formulany akymyň hakyky tizligi $\vartheta < 1.2 m/sek$ bolan ähli suw geçiriji turbalarda ulanmaklygy makul bilýär.

Aşakda 5.2-nji tablisada φ düzediş koeffisiýentiniň hakyky ululyklary täze polat suw ($\Delta_{ekw} = 0.1 mm$, $\nu = 0.01 \cdot 10^{-4} m^2/s$) geçirijileri üçin getirilýär.

5.2-nji tablisa

Suw ýa-da howa akymynyň tizligi, ϑ, m/sek	**φ düzediş koeffisiýentiniň ululygy**	
	Polat suw geçirijileri üçin	**Polat howa geçirijileri üçin**
0.01	2.88	5.6
0.1	1.67	3.16
0.5	1.24	2.14
1.0	1.14	1.82
2.0	1.08	1.56
3.0	1.05	1.44
4.0	1.04	1.37
5.0	1.03	1.31
10.0	-	1.19
20.0	-	1.10
50.0	-	1.05
100.0	-	1.02

5.4. Turbageçirijileriň gidrawliki hasaplama meselelerniň görnüşleri

Turbageçirijileriň gidrawliki hasaplama meseleleriniň görnüşleri we düzümi onyň plan-shematiki şekiline, ýerli geodeziki şertlere, başlangyç we ahyrky nokatlarynda naporlaryň tapawdyna hem-de turbageçirijiniň täzeden döredilýänligine ýa-da onyň öňden ulanylýanlygyna we beýleki köp faktorlara baglydyr. Meseleleriň aglaba görnüşlerinde turbageçirijileriň plan-shematiki şekili, olaryň uzynlygy, turbalaryň standart-sortament görkezijileri, materialy, içki diwarynyň büdür-südürlik häsiýetnamalary hem-de hili berlen ýa-da kabul edilýän görkezijilerdir. Gidrawliki hasaplamalaryň netijesinde kesgitlenilmeli görkezijileriň görnüşleri boýunça naporly turbageçirijileriň gidrawliki hasaplama meseleleri üç görnüşe bölünýärler.

Gidrawliki hasaplama meseleleriň birinji görnüşinde berlen *l* uzynlykly, d diametrli turbageçirijiniň berlen Q mukdarly akymyny akdyrmak üçin talap edilýän H naporynyň ululygyny kesgitlemeli.

Bu meseleleriň esasy gidrawliki hasaplama çözgüdi (5.6), (5.11) ýa-da (5.13) formulalaryň gös-göni ulanylmagy bilen ýerine ýetirip biliner. Ýöne gidrawliki hasaplamalaryň takyk düzümi uzyn hem-de gysga turbageçirijileriniň aýratynlyk tapawutlaryny göz öňünde tutmalydyr.

Uzyn ýa-da magistral naporly turbageçirijiler üçin ýokarda agzalan çözgüt aşakdaky görnüşde ýerine ýetirler:

$$H_1 = H_2 + 1{,}1 S_0 l Q^2 \qquad (5.11)$$

ýa-da

$$H = H_1 - H_2 = 1{,}1 S_0 l Q^2 \qquad (5.18)$$

Gysga naporly turbageçirijiler üçin meseläniň çözgüdi (5.4) belgili deňlemeden gelip çykar:

$$H_1 - H_2 = h_f \tag{5.4}$$

$$H = h_e + h_ý \tag{5.19}$$

$$H = \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^4}\left(\alpha + \frac{\lambda l}{d} + \sum \xi_ý\right) \tag{5.20}$$

Soňky (5.18) we (5.20) hasaplama formulalarynda $S_0 = \frac{8\lambda_{kw}}{g\pi^2 d^5}$, α=1,1 turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti $\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanşyk esasynda gidrawliki sürtülme zolagyň görnüşine laýyklykda kesgitlenilmeli, $\sum \zeta_ý$ - gysga turbageçirijiniň plan-shematiki şekiline görä alynmaly ýerli gulusyk koýefisiýentleriniň jemi. Ýokardaky getirilýän formulalary ulanmak we çözmek üçin gerek bolan $Re = \frac{\vartheta \cdot d}{\nu}$, $\vartheta = \frac{4Q}{\pi d^2}$, we beýleki ululyklar takyk kesgitlenilýärler.

Gidrawliki hasaplama meseleleriniň ikinji görnüşinde berlen *l* uzynlykly, d diametrli we H hereketlendiriji naporly turbageçirijiniň Q geçirijilik ukybyny kesgitlemeli.

Bu meseläniň çözgüdi (5.18) we (5.20) belgili formulalar boýunça degişlilikde uzyn we gysga naporly turbageçirijiler üçin ýerine ýetirilip biliner.

Onda uzyn naporly turbageçirijiler üçin:

$$Q = \sqrt{\frac{H}{1{,}1 S_0 l}} \tag{5.21}$$

hem-de gysga turbageçirijiler üçin:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2gH}{\alpha + \frac{\lambda l}{d} + \sum \xi_ý}} \tag{5.22}$$

Birinji görnüşli meselelerden tapawutlylykda, (5.21) we (5.22) formulalarda λ, $\xi_ý$, koeffisiýentleri gös-göni kesgitlemek mümkinçiligi ýokdur, sebäbi näbelli Q mukdarly akymlarda esasy kesgitleýji görkezijiler bolan Re we ϑ hem näbelli ululyklardyr. Şonuň üçin mesele takmynandan synanşmak usuly bilen çözülip biliner. Onyň ilkinji synanşygyny turbageçirijileriň kwadratly gidrawliki garşylyk zolagy ýerine ýetirilmeli. Bilişimiz ýaly bu zolakda λ we $\xi_ý$ koeffisiýentler Re we ϑ ululyklara bagly däldirler.

Gidrawliki hasaplama meseleleriniň üçünji görnüşinde naporly turbageçirijiniň berlen l, H we Q ululyklaryny kanagatlandyrýan d diametriniň ululygyny kesgitlemeli.

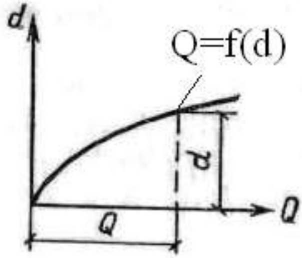
Goýulan meseläniň çözgüdi öňki meselelerde boluşy ýaly, (5.18) we (5.20) belgili formulalaryň kömegi bilen ýerine ýetirilip biliner. Emma ýokarda agzalan formulalar d ululyga görä çözülende dördünji we bäşinji derejeli deňlemeler alynar. Eger-de λ, $\xi_ý$ koeffisiýentleri kesgitlemek üçin ulanyllmaly Re we ϑ görkezijiler-de näbelli d diametriniň üsti bilen aňladylsa, onda hasaplanylşy has çylşyrymlaşýan transsendent deňlemelerini çözmek zerurlygy ýüze çykýar.

Şonuň üçin, goýulan meseleleri, ikinji görnüşli meselelerde bolşy ýaly, takmynandan yzygiderli synanşmak usuly bilen çözmeklik amatly hasaplanylýar. Şeýle bolanda, meseläniň ilkinji synanşyk çözgüdini kwadratly garşylyk zolagyndan başlamaklyk maslahatberilýär. Bu synanyşda Re, ϑ ululyklarykesgitlemek zerurlygy döremeýär.

Onda, (5.22) deňleme Q=f(d) görnüşe getirler, hem-de yzygiderlilikde turbageçirijiniň d_1, d_2,.... d_n synanyşyk ululyklary üçin çözüler:

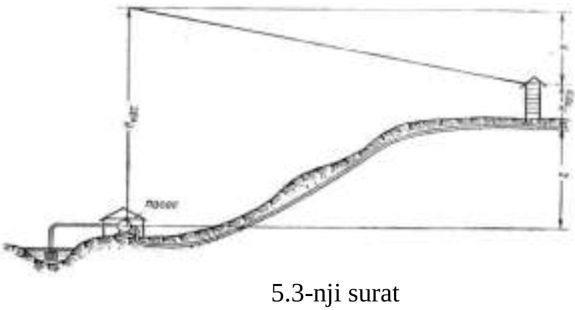
$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2gH}{\alpha+f_1(d)\frac{l}{d}+\sum\xi_ý}} \qquad (5.23)$$

Netijede Q=f(d) funksiýanyň grafiki şekilini gurmak mümkinçiligi dörär (5.2-nji surat). Bu grafikden turbageçirijiniň akymynyň berlen Q mukdaryny kanagatlandyrýan d diametriniň ululygy kabul ediler.



5.2-nji surat

Gidrawliki hasaplama meseleleriniň üçünji görnüşinde degişli nusgawy meseleleriň ýene-de birine seredeliň 5.3-nji suratda şekillendirilşi ýaly, uzyn magistral suw geçirijide berlen şertlerde (ulanyjynyň talap edýän erkin napory H_u,onuň ýerleşen geodeziki belgisi Z_u, nasosyň sorup alýan suwunyň geodeziki belgisi Z_s, turbageçirijiniň uzynlygy l) akymyň mukdarynyň Q ululygyny üpjün edýän nasosyň naporynyň H_n hem-de magistral suw geçirijiniň diametriniň ululyklaryny kesgitlemeli.



5.3-nji surat

Meselede beýan edilen akdyryjy ulgamyň 5.3-nji çyzgyda getirlen pýezometriki grafiginden görnüşi ýaly, magistral suw geçirijiniň başlangyç nokadynda ýerleşdirlen nasosyň döretmeli naporynyň H_a ululygy aşakdaky, gelip çykyş usuly boýunça (5.11) deňlemäni gaýtalaýan, deňleme boýunça kesgitlenliýär:

$$H_N=H_{st}+h_e \tag{5.24}$$

Bu ýerde

H_{st}-nasos desgasynyň hemişelik statiki napory. Öz gezeginde H_{st} ululyk şeýle kesgitlenilýär.

$$H_{st}=(Z_u-Z_s)+H_u \tag{5.25}$$

Akdyryjy ulgamyň turbageçirijilerinde döreýän napory uzynlyk ýitgisiniň ululygy (5.10) belgili aňlatma boýunça kesgitleniler:

$$h_e=1,1S_olQ^2 \tag{5.10}$$

Onda, nasosly akdyryjy ulgamyň talap edilýän H_N başlangyç hereketlendiriji naporynyň ululygyny kesgitleýän deňleme aşakdaky görnüşe geler:

$$H_N=H_{st}+1,1S_olQ^2 \tag{5.26}$$

Alynan hasaplama deňlemeden görnüşi ýaly, meseläniň netijeli çözgüdini üpjün edýän şertler ýeterlik däldir. Dogurdan hem, ulgamyň turbageçirijisiniň diametri minimal ululykda kabul edilende onuň gurluşyk bahasy B_g kiçeler, emma suwy akdyrmak üçin sarp edilýän ulanyş çykdajylary bu ululyklar turbageçirijiniň diametri maksimal ululyklarda kabul edilende ulgamyň ykdysady görkezijileri ters gatnaşykda üýtgeýärler. Şonuň üçin, ulgamyň turbageçirijisiniň diametiriniň esasy ykdysady görkezijileriň amatly gatnaşygyny üpjün edýändiginden ugur alyp, onuň ululygyny $B_g+B_u=f(d)$ funksiýanyň iň minimal bahasyna laýyklykda kabul edilmegi meseläniň takyk çözülendigini aňladar.

Şeýlelik-de, takyk tehniki-ykdysady hasaplama derňewleriniň netijesinde kesgitlenilen turbageçirijiniň diametriniň d ululygy iň amatly diametr bolar.

Ýokarda beýan edilen gidrawliki hasaplama çözgüdi diňe nasos we turbageçirijiler ulgamynyň işçi taslama çözgütleriniň esasynda ýerine ýeitirilip biliner. Gidrawliki hasaplama meseleleri derejesinde (5.26) belgili deňlemäniň çözgütleri diňe §5.2. beýan edilen basyşly suw geçirijiniň normatiw tizligi kabul edilende ýa-da beýleki çäklendiriji şertler ulanylanda ýerine ýetirilip biliner. Mysal üçin, nasosyň dredýän naporynyň H_N ýa-da turbageçirijiniň diametriniň d ululyklarynyň amatly çäkleri ýörite tehniki şertler derejesinde berlen ýa-da kabul edilen ýagdaýlarda mesele doly çözüler.

Köp sanly taslama we hasaplama çözgütlerini seljermegiň we ylmy nukdaý-nazardan derňemegiň netijesinde, professor W.G. Lobaçew nasosly turbageçirijileriň amatly diametiriniň ululygyny aşakdaky formula boýunça kesgitlenilmegini hödürleýär:

$$d=a\cdot Q^{0,42} \tag{5.27}$$

bu ýerde:

a=0,8-1,2 çäklerde kabul edilýär hem-de, turbageçirijiniň ýerli gurluş we ulanyş şertlerini göz öňünde tutýan koeffisiýent;

Q-akymyň hasaplama mukdary, m^3/sek;

d-nasosly turbageçirijiniň amatly diametri, m.

5.5. Deşikli turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamasy

Üýtgemeýän d diametrli naporly turbageçirijiniň l uzynlykly AB böleginde akdyrylýan suwuklygyň Q_l mukdary deşikler arkaly üznüksizpaýlanýar.

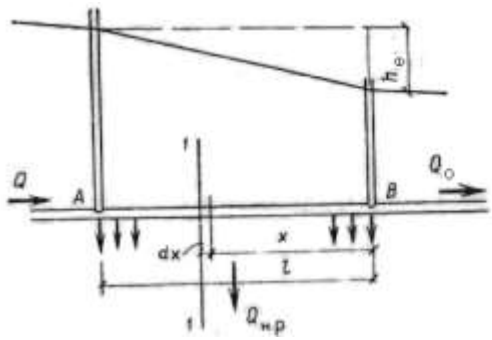
Onda turbageçirijiniň AB böleginde Q_l mukdar önümligi $q_l=Q_l/l$ ululykda üznüksiz paýlaýar hem-de doly sarp edilýär.

Suwuklyk akymynyň Q_o mukdary bolsa turbageçirijiniň deşikli böleginden üýtgemeýän ululykda göni geçýär. Turbageçirijiniň başlangyç A nokadynda akymyň umumy Q mukdary

$$Q=Q_o+Q_l \tag{5.28}$$

Turbageçirijiniň B nokadynda akymyň umumy mukdary diňe göni geçýän ýa-da tranzit mukdardan ybaratdyr.

$$Q=Q_o \tag{5.29}$$



5.5-nji surat

Deşikli turbageçirijiniň AB böleginde akymyň naporynyň ýitgisini kesgitläliň. Turbageçirijiniň B nokadyndan χ aralykda 1-1 kesiginden dx elementar uzunlykly bölejikde ýüze çykýan dh_e naporyň ýitgisiniň ululygyny aşakdaky formula boýunça kesgitläp bolar:

$$dh_e=S_o Q_1^2 dx \qquad (5.30)$$

bu ýerde Q-1-1 kesikde akymyň umumy hasaplama mukdary;

onuň ululygy

$$Q_1=Q_o+Q_l\frac{\chi}{l} \qquad (5.31)$$

Onda

$$dh_e = S_o\left(Q_o + Q_l\frac{\chi}{l}\right)^2 dx \qquad (5.32)$$

Soňky diferensal deňlemäni turbageçirijiniň uzynlygyny 0-l çäklerinde integrirläp alarys.

$$h_e = \int_0^l \left(Q_o^2 + 2Q_oQ_l\frac{\chi}{l} + \frac{Q_l^2x^2}{l^2}\right)S_o dx$$

Turbageçirijiniň udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylyklaryny S_o kwadratly sürtülme zolagy üçin hemişelik ululyk hasaplap alarys.

$$h_e = s_o l Q_o^2 + S_o\frac{ZQ_oQ_l l^2}{2l} + S_o\frac{Q_l^2 l^3}{3l^2}$$

ýa-da

$$h_e = \left(Q_o^2 + Q_oQ_l + \frac{Q_l^2}{3}\right)S_o l \qquad (5.33)$$

Eger-de AB deşikli turbageçirijide hakyky gidrawliki sürtülme garşylyk zolagy kwadraty däl zolaklarda bolsa, onda hasaplama formulalarynda degişli φdüzediş koeffisiýýentine ulanylar.

(5.33) belgili formula üstünden göni geçýän (tranzit) Q_o mukdarly deşikli naporly turbageçirijileriň esasy gidrawliki hasaplama formulasydyr. Bu formula ýönekeý naporly turbageçirijiniň esasy gidrawliki hasaplama formulasynyň görnüşine getirilip biliner. Dogurdan hem $(Q_o^2 + Q_oQ_l + \frac{Q_l^2}{3}) = Q_{d.h}^2$ deşikli turbageçirijiniň aymynyň hasaplama mukdary diýilip kabul edilse, onda

$$h_l = S_o l Q_{d.h}^2 \tag{5.34}$$

Öz gezeginde $Q_{d.h}^2 = (Q_o + 0{,}55Q_l)^2$ bolar onda $Q_{d.h}$=Q_o0,55Q_l , ýagny, tranzit mukdarly deşikli naporly turbageçirijileriň akymynyň hasaplama mukdarydoly tranzit hem-de ululykly üznüksiz paýlanýan mukdarlaryň jemine deňdir.

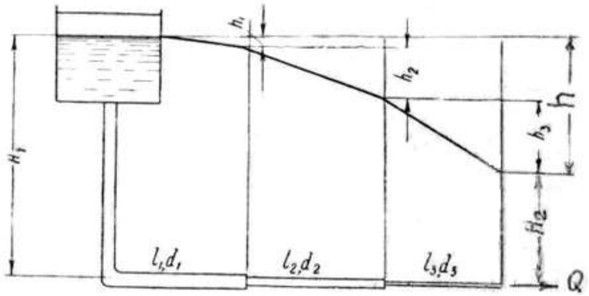
Eger-de deşikli turbageçirijilerde göni geçýän tranzit mukdar bolmasa, ýagny Q_o=0, onda $Q_{d.h}$=0,55Q_l bolar ýa-da $Q_{d.h}^2 = \frac{Q_l^2}{3}$ bolar. Onda (5.33) hem-de (5.34) belgili gidrawliki hasaplama formulalary aşakdaky görnüşde ýazylarlar:

$$h_l = \frac{1}{3} S_0 l Q_l^2 \tag{5.35}$$

Soňky (5.35) belgili formuladan görnüşi ýaly, diňe üznüksiz paýlamaýan Q_l mukdarly deşikli turbageçirijilerde naporyň uzynlyk ýitgisi deň diametrli we deň akym mukdarly ýönekeý turbageçirijileriň naporynyň ýitgisinden 3 esse kiçidir.

5.6. Yzygiderli birleşdirlen çylşyrymly turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamasy

Yzygiderli birleşdirlen üç sany dürli diametrli hem-de dürli uzynlykly ýönekeý turbageçiriji böleklerden ybarat bolan çylşyrymly suwuklyk akdyryjy ulgama seredeliň. Bu ulgamyň shematiki şekili we pýezometriki çyzygy 5.6-njy suratda şekillendirlen.



5.6-njy surat

Turbageçirijilerde we tutuş akdyryjy ulgamda akymyň Q mukdary hemişelik ululygyny saklaýar.

Seredilýän akdyryjy ulgamyň pýezometriki çyzyklaryndan görnüşi ýaly, yzygiderli birleşdirlen turbageçirijilerde naporyň umumy ýitgisi h turbageçiriji bölekleriň naporlarynyň ýitgileriniň jemi görnüşinde kesgitlenilýär, ýagny

$$h=h_1+h_2+h_3 \quad (5.36)$$

Onda yzygiderli birleşdirlen naporly turbageçirijileriň esasy gidrawliki hasaplama formulasy §5.2 jikme-jik seredilen ýönekeý naporly turbageçirijileriň (5.10) belgili formulasyna meňzeşlikde aşakdaky görnüşlerde ýazylyp biliner:

$$H_1=H_2+h \tag{5.37}$$

$$H_1=H_2+h_1+h_2+h_3 \tag{5.38}$$

$$H_1=H_2+1,1S_{0.1}l_1Q^2+1,1S_{0.2}l_2Q^2+1,1S_{0.3}l_3Q^2 \tag{5.39}$$

$$H_1=H_2+1,1(S_{0.1}l_{1+}\ S_{0.2}l_{2+}\ S_{0.3}l_3)Q^2 \tag{5.40}$$

$$\mathrm{H}_1 = \mathrm{H}_2 + 1,1\left(\sum_{i=1}^{n} S_{oi}\, l_i\right)Q^2 \tag{5.41}$$

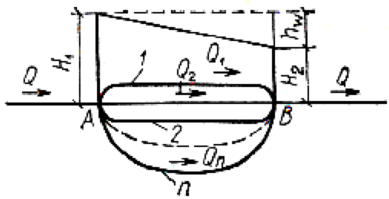
Bu ýerde S_{o1}, S_{o2}, S_{o3} - yzygiderli birleşdirlen ýönekeý turbageçirijileriň kwadratly garşylyk zolagy üçin alynan udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylyklar 1,1- ýerli gidrawliki garşylyklary hasaba alýan koeffisiýenti.

Ýokarda alynan (5.40) belgili formula yzygiderli birleşdirilen üç sany bölekden ybarat bolan naporly turbageçirijileriň esasy gidrawliki formulasydyr. (5.41) belgili formula bolsa yzygiderli birleşdirilen n böleklerden ybarat bolan naporly turbageçirijileriň esasy gidrawliki hasaplama formulasynyň umumy görnüşidir. Bu formula (5.37) belgili deňlemä laýyklykda H_1-H_2=h hem-de $\sum_{i=1}^{n} S_{oi}l_i = S$ (ulgamyň doly uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygy) bellikleri girizsek onda ulgamyň geçirijilik ukybynyň ululygy üçin aşakdaky formulany alarys:

$$Q = \sqrt{\frac{h}{S}} \tag{5.42}$$

5.7. Parallel birleşdirilen turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamasy

Parallel birleşdirilen turbageçirijileriň A aýrylýan hem-de B birikýän umumy nokatlary bolýandyr. Akymyň umumy mukdary Q esasy turbageçirijilerde (A nokada çenli we B nokatdan soňky) deň ylylykdadyrlar. Parallel birleşdirilen turbageçirijileriň shemasy we pýezometriki çyzgy 5.7-nji suratda şekillendirilen.



5.7-nji surat

Suratda görkezilen parallel ýönekeý turbageçirijileriň uzynlyklarynyň diametriniň hem-de akymlaryň mukdarlarynyň dürlidigine garamazdan olaryň naporlarynyň ýitgilerini özara deňdirler, ýagny:

$$H_1 - H_2 = h_f = h_1 = h_2 = h_3 = \cdots = h_n \qquad (5.43)$$

Bu ýerde

H_1 −turbageçirijileriň başlangyç A nokatdaky pýezometriki napory;

H_2 −turbageçirijileriň ahyrky B nokatdaky pýezometriki napory;

h_f −Bernulliniň deňlemesinde getirilýän naporyň umumy ýitgisi;

$h_{1,}\ h_2, h_3, \dots, h_n$ −parallel birleşdirilen ýönekeý turbageçirijileriniň degişlilikde naporlarynyň umumy ýitgileri. 5.2-

nji bolümde ýaly ýitgiler uzyn naporly turbageçirijileriň gidrawliki hasaplama formulasy boýunça kesgitlenilmelidir, ýagny: $h_f = 1.1h_e = 1.1S_0lQ^2$. Onda, parallel birleşdirilen turbageçirijileriň her biri üçin ýazyp bolar:

$$\begin{gathered} h_1 = 1.1S_{0.1}l_1{Q_1}^2 \\ h_2 = 1.1S_{0.2}l_2{Q_2}^2 \\ h_3 = 1.1S_{0.3}l_3{Q_3}^2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ h_n = 1.1S_{0.n}l_n{Q_n}^2 \end{gathered} \qquad (5.44)$$

Soňky formulalardan parallel turbageçirijileriň akymlarynyň mukdarlaryny kesgitläp bolar:

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{\frac{h_f}{1.1S_{0.1}l_1}} \\ Q_2 &= \sqrt{\frac{h_f}{1.1S_{0.2}l_2}} \\ Q_3 &= \sqrt{\frac{h_f}{1.1S_{0.3}l_3}} \\ \dots &\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ Q_n &= \sqrt{\frac{h_f}{1.1S_{0.n}l_n}} \end{aligned}\right\} \qquad (5.45)$$

Parallel turbageçirijileriň ýokarda getirilen birleşdiriş şertine laýyklykda ýazyp bolar:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_n \qquad (5.46)$$

Onda (5.44) we (5.45) belgili formulalary bilelikde seredip alarys:

$$Q = \sqrt{\frac{H_1 - H_2}{1.1(S_{0.1}l_1 + S_{0.2}l_2 + S_{0.3}l_3 + \cdots +)S_{0.n}l_n}} \qquad (5.47)$$

Ýa-da umumy görnüşde:

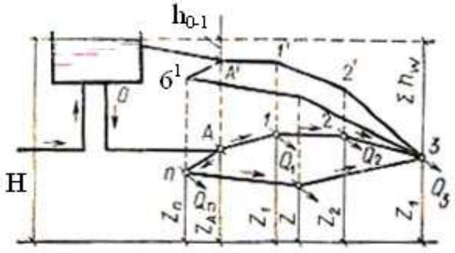
$$Q = \sqrt{\frac{H_1 - H_2}{1.1\sum_{i=1}^{n} S_{0.i}l_i}} \qquad (5.48)$$

Alynan (5.47) we (5.48) belgili formulalar parallel birleşdirilen turbageçirijileriň esasy gidrawliki hasaplama formulalarydyr. Formulalardaky $S_{0.1}, S_{0.2}, S_{0.3}, \ldots, S_{0.n}$ ululyklar turbageçirijileriň kwadratly gidrawliki garşylyk zolagy üçin alynan udel yzynlyk sürtülme garşylygydyr. Egerde turbageçirijileriň ýa-da olaryň aýratyn şahalaryna garşylyk zolagy kuwwatly däl kada bilen gabat gelýän bolsa, onda 5.3-nji bölümde jikme-jik düşündirilişi ýaly (5.44) belgili formula ψ düzediş koeffisiýentleri ulanylmalydyr.

5.8. Turbageçirijiler setleriniň gidrawliki hasaplamalary

Turbageçirijiler setleri (torlary) şäherlerde ýa-da beýleki ilatly punktlarda agyz suwyny, gazy, ýyladylan suwy merkezleşdirlen görnüşde sarp edijilere paýlamak üçin ulanylýan akdyryjy ulgamlardyr. Olar plan-shematiki şekili boýunça halka, şahaly hem-de kombinirlenen görnüşlerde bolup bilerler.

Halka görnüşli turbageçirijiler seti 5.8-nji suratda şekillendirlen.



5.8-nji surat

Bu turbageçirijiler seti 1-2-3-4 hem-de 1-6-5-4-ugurlar boýunça yzygiderli birleşdirlen umumy ýagdaýda diametrleriniň ululyklary bilen tapawutlanýan alty sany halka görnüşde ýönekeý naporly turbageçirijiden ybaratdyr. Akymyň hereket ugurlary hem-de aýry-aýry turbageçirijileri üçin akymyň hakyky hasaplama mukdarlary sarp edijileriň talabyna laýyklykda kabul edilen Q_2, Q_3,Q_4, Q_5,Q_6 degişli düwün mukdarlarynyň ululyklaryna laýyklykda kesgitlenýärler. Mysal üçin, 1-2 turbageçirijiniň akymynyň hasaplama mukdary $Q_{1\text{-}2}=Q_2+ Q_3+ \alpha_1 Q_4$ ýa-da 1-6 bölegiň akymynyň mukdary $Q_{1\text{-}6}=Q_6+ Q_5+ \alpha_2 Q_4$. Bu ýerde 4-nji düwün halkanyň soňky ýygnaýjy hem-de gidrawliki manyda höküm ediji düwündir. Ol Z_4, Q_4 hem-de $\sum l_{1\text{-}2\text{-}3\text{-}4}$ we $\sum l_{1\text{-}6\text{-}5\text{-}4}$ ululyklary deňeşdirmegiň nukdaý-nazardan iň amatsyz düwün hökminde kabul edilýär. Bu düwüniň talap edýän Q_4 mukdary 1-2-3-4 hem-de 1-6-5-4 ugurlar boýunça üpjün edilýändigi sebäpli ýokardaky mysaly hasaplamalardaky getirilen $\alpha_1+\alpha_2=1.0$ şerte esaslanyp alynýar.

Halka görnüşli turbageçirijiler setleriniň gidrawliki hasaplamasynyň esasy meselesi, berlen l_i, d_i hem-de Z_i ululyklara görä sarp edijileriň talaplaryna laýyklykda kabul edilen Q_i düwün mukdarlarynyň ululygyny üpjün edýän başlangyç naporyň H ululygyny kesgitlemekdir. Bu gidrawliki hasaplama çözgütleri halka görnüşli turbageçirijiler setiniň aşakdaky kanunlaryna esaslanmalydyr:

1. Halkanyň islendik düwüninde oňa gelýän we ondan gidýän (şol sanda sarp edilýän) akymlaryň mukdarlarynyň algebraik jemi nola deňdir, ýagny

$$\pm\sum Q_{düwün}=0 \qquad (5.48)$$

2. Halkanyň akym ugurlary boýunça naporyň ýitgileriniň algebraik jemi nola deňdir, ýagny

$$\pm\sum h=0 \qquad (5.49)$$

5.8-nji suratda 0′1′2′3′4′5′6′ çyzyklar berlen halka görnüşli turbageçirijiler setiniň pýezometriki grafigidir. Bu grafikden görnüşi ýaly, goýulan meseläniň esasy çözgüdi aşakdaky görnüşde ýazylyp bilner:

$$H=Z_4+\sum h \qquad (5.50)$$

Bu ýerde

$\sum h$-0-1-2-3-4 ýa-da 0-1-6-5-4 akym yzygiderli birleşdirlen ýönekeý naporly turbageçirijileriň ugurlary boýunça naporyň ýitgileriniň jemi. Onda, $\sum h$ aşakdaky görnüşlerde kesgitlenip biliner:

$$\sum h=h_{0-1}+h_{1-2}+h_{2-3}+h_{3-4} \qquad (5.51)$$

ýa-da

$$\sum h=h_{0-1}+h_{1-6}+h_{6-5}+h_{5-4} \qquad (5.52)$$

Şeýlelikde (5.50) belgili deňleme aşakdaky görnüşlerde ýazylyp biliner:

$$H=Z_4+h_{0-1}+h_{1-2}+h_{2-3}+h_{3-4} \qquad (5.53)$$

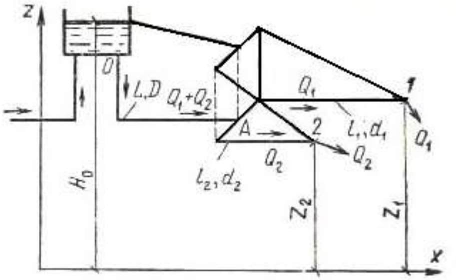
ýa-da

$$H=Z_4+h_{0-1}+h_{1-6}+h_{6-5}+h_{5-4} \qquad (5.54)$$

Alynan (5.53) we (5.54) belgili formulalar halka görnüşli turbageçirijiler setiniň esasy gidrawliki hasaplama formulasydyr. Bu formulalara girýän turbageçirijilere bölekleriniň naporlarynyň ýitgileri. §5.2 we §5.3 jikme-jik seredilen gidrawliki hasaplama usullaryna laýyklykda kesgitlenilýär. Halkalaýyn geçirlen turbageçirijiler setlerinde, (5.51) we (5.52) hem-de (5.53) we (5.54) belgili formulalar boýunça kesgitlenilen ululyklar degişlilikde özara deň bolmalydyrlar. Eger-de bu şert ýerine ýetirilmese, onda gidrawliki nukdaý-nazardan "ýüklenen" ugurlaryň ýa-da aýry-aýry turbageçirijileriň diametrleriniň ululyklary gaýtadan seredilmelidir.

Köp halkaly turbageçirijiler setlerinde kiçi we uly konturly halkalar boýunça naporyň ýitgilerini deňlemek prossesi ýokarda getirlen prinsipde ähli halkalar üçin özara baglanşyklykda we umumy utgaşdyrma usulynda ýerine ýetirilmelidir.

Şahaly turbageçirijiler setiniň şekilli 5.9-njy suratda getirilen. Bu turbageçirijiler seti jemi üç sany yzygiderli birleşdirlen ýönekeý naporly turbageçirijilerden ybarat bolup, 0-1-2 hem-de 0-1-3 ugurlar boýunça şahalanýar. Akym ugurlarynyň hem-de aýry-aýry turbageçirijileriň akymynyň hasaplama mukdarlary 2 we 3 sarp ediji düwünleriň talap edýän mukdarlaryna baglylykda kesgitlenilýär, ýagny, $Q_{0-1}=Q_1+Q_2$; $Q_{1-2}=Q_2$; $Q_{1-3}=Q_3$



5.9-njy surat

Şahaly turbageçirijiler setleriniň gidrawliki hasaplamasynyň esasy meselesi, setiň berlen Z_i,l_i,d_i ululyklara laýyklykda onuň ahyrky sarp ediji düwünleriniň talap edýän Q_i mukdaryny üpjün edýän başlangyç naporynyň H ululygyny kesgitlemekdir.

Seredilýän şahaly turbageçirijiler setiň pýezometriki 0′-1′-2-3 grafikden görnüşi ýaly, turbageçirijiler şahalarynyň 0-1-2 hem-de 0-1-3 ugurlary boýunça ýokarda goýulan meseläniň çözgüdini aşakdaky deňlemelere esaslanyp ýerine ýetirip bolar:

$$H=Z_2+h_{0-1}-h_{1-2} \tag{5.55}$$

ýa-da

$$H= Z_3+h_{0-1}-h_{1-3} \tag{5.56}$$

(5.55) we (5.56) belgili formulalar şahaly turbaeçirijiler setleriň esasy gidrawliki hasaplama formulalary bolup bilerler. Ýöne olar deň derejede setiň kesgitleýji şahalarynyň gidrawliki hasaplama formulasy bolup bilmezler. Şahaly turbageçirijileriň kesgitleýji ugry diýilip onyň başky O düwünini setiň ahyrky höküm ediji ýa-da ýerleşiş Z beýikligi, talap edýän mukdarynyň Q ululygy hem-de düwünleri birleşdiriji turbageçirijileriň uzylygy boýunça amatsyz ýerleşen düwüniň şahasyna aýdylýar.

Biziň seredýän mysalymyzda (5.9-njy surat) 0-1-2 ugur setiň kesgitleýji şahasy hököminde kabul edilip biliner. Sebäbi mümkin bolan 0-1-2 we 0-1-3 ugurlardan Z_2 hem-de ℓ_{1-2} görkezijileri boýunça 2-nji düwün setiň gidrawliki manyda hököm ediji düwündir. Onda, şahaly turbageçirijiler setiniň başky naporynyň hakyky ululygyny diňe (5.55) belgili formula boýunça kesgitläp bolar.

(5.55) belgili formula boýunça ýerine ýetirilýän hasaplamada 0-1 we 1-2 belgili ýönekeý turbageçirijileriň naporlarynyň ýitgileri §5.2-de getirlen hasaplama usulýetine laýyklykda kesgitlenilmelidir, ýagny.

$$h_{0-1}=1,1S_{0-1}\ell_{0-1}Q^2_{0-1} \qquad (5.57)$$

$$h_{1-2}=1,1S_{1-2}\ell_{1-2}Q^2_{1-2} \qquad (5.58)$$

bu ýerde

S_{0-1}, S_{1-2}-ýönekeý turbageçiriji bölekleriniň diametriniň ululyklaryna baglylykda kabul edilýän udel uzynlyk sürtülme garşylyklar.

Setiň 1 belgili düwüninde pýezometriki naporyň H_1 ululygyny kesgitleýäris.

$$H_1=Z_2+h_{1-2} \qquad (5.59)$$

ýa-da

$$H_1=H-h_{0-1} \qquad (5.60)$$

Hasaplamanyň ahyrky tapgyrynda setiň 1-3 belgili ýönekeý şahasynyň diametrini saýlaýarys. Şahanyň $h_{1-3}=H_1-Z_3$ ululyga deň bolan naporynyň berlen ýitgisine laýyklykda kesgitlenilýän udel uzynlyk sürtülme garşylygyň S_{1-3} ululygy boýunça kabul edilýän diametriň çözülýän meseläniň ayrky netijesidir, ýagny.

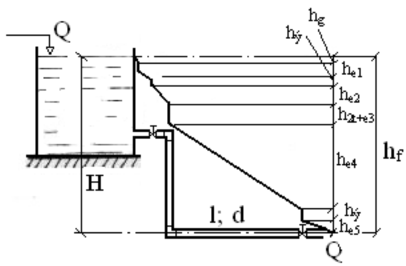
$$S_{1-3}=\frac{H_1-Z_3}{1,1\,\ell_{1-3}\cdot Q_{1-3}^2} \qquad (5.61)$$

Kesgitlenilýän d_{1-3} diametr S_{1-3} ululygy boýunça $S_{o.kw}$=f(d) grafiklerden kabul edilmelidir.

Şahaly turbageçirijiler setiň ýokarda ýazylyp beýan edilen gidrawliki hasaplama usuly setiň şahalarynyň gidrawliki nukdaý-nazardan deňölçegli ýüklenmesini üpjün edýän hasaplama usulydyr.

Kombinirlenen turbageçirijiler setleriniň gidrawliki hasaplamalary, ýokarda seredilen halka görnüşli hem-de şahaly turbageçirijiler setleriniň bilelikde, bütewi akdyryjy ulgam görnüşinde seredilmeginiň netijesinde ýerine ýetirilmelidir.

5.9. Gysga turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamalary



5.10-njy surat

Gysga turbageçirijileriniň gidrawliki hasaplamalarynyň umumy usulyýet meseleleri §4.2 we §4.3 seredilipdi. Olaryň esasy hasaplama ýörelgeleri aşadakylar:
özara deňululyklarda hasaplanylýan uzynlyk sürtülme h_l hem-de ýerli $h_ý$ ýitgileriň jemi görnüşinde kesgitlenilmeli;

- gysga turbageçirijilerde naporyň umumy h_f-ýitgisiniň ululygy Darsi-Wesbahyň birleşdirlen formulasy boýunça kesgitlenillmeli.

Şeýlelikde, gysga turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamasynyň esasy ýörelgesi we formulasy aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner:

$$h_f = h_l + h_ý = \frac{\lambda \ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} + \sum \xi_ý \frac{v^2}{2g} = \left(\frac{\lambda \ell}{d} + \sum \xi_ý \right) \frac{v^2}{2g} \qquad (5.62)$$

bu ýerde

λ-turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti, $\lambda = f(Re, \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanşyga laýyklykda kesgitlenýär.

$\sum \xi_ý$-gysga turbageçirijidäki ýerli garşylyk koeffisiýentleriniň jemi.

ϑ- akymyň orta tizligi. $\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^4}$

Gysga turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamasynyň esasy meselesi berlen ℓ, d, H ululyklara laýyklykda ulgamyň geçirijilik ululyklara Q ululygyny kesgitlemekdir.

Gysga turbageçirijileriň nusgawy mysaly görnüşinde kabul edilip 5.10-njy suratda şekillendirlen mysala seredeliň.

Hemişelik beýiklik derejeli suwuklyk saklanýan naporly gapdan uzynlygy ℓ, diametri d bolan turbadan suwuklyk H ululykly başlangyç hereketlendiriji naporyň täsiri bilen erkin akyp çykýar. Turbanyň soňky bölegi gorizontal tekizlikde ýerleşen, onyň başlangyç kesigi suwuklykly gabyň gapdal diwarynda alynan d diametrli deşige birleşdirlen. Turbada iki sany ýapyjy armatura (zadwižka) we iki sany göniburçly tirsek ulanylan.

Seredilýän gysga turbageçirijileriniň pýezometriki grafiginden görnüşi ýaly, onyň H ululykly başky napory esasan turbada döreýän uzynlyk sürtülme h_l hem-de ýerli garşylyklary $h_ý$ ýeňip geçmek üçin sarp edilýär. Dogrydan hem, gapdaky suwuklygyň hemişelik H beýiklik derejeli üst hem-de turbanyň ahyrky kesikleri üçin Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$H = \frac{\alpha v^2}{2g} + h_f \qquad (5.63)$$

bu ýerde ϑ-turbadaky suwuklyk akymynyň orta tizligi

h_f-gysga turbageçirijilerde naporyň umumy ýitgisi.

Onda h_f-ýitginiň ululygyny (5.62) belgili aňlatmadan kabul edip alarys:

$$H = \left(\alpha + \frac{\lambda\ell}{d} + \sum\xi_{ý}\right)\frac{v^2}{2g} \tag{5.64}$$

ýa-da $\vartheta = \frac{Q}{\omega}$ göz öňüde tutup:

$$H = \left(\alpha + \frac{\lambda\ell}{d} + \sum\xi_{ý}\right)\frac{Q^2}{\omega^2 2g} \tag{5.65}$$

Soňky (5.65) belgili deňlemeden, gysga turbageçirijileriň geçirijilik ukybynyň Q ululygy üçin alarys:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\lambda\ell}{d} + \sum\xi_{ý}}}\,\omega\sqrt{2gH} \tag{5.66}$$

ýa-da

$$Q = \mu_u\omega\sqrt{2gH} \tag{5.67}$$

Bu ýerde

μ_u-gysga turbageçiriji ulgamyň mukdar koeffisiýenti

$$\mu_u = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\lambda\ell}{d} + \sum\xi_{ý}}} \tag{5.68}$$

Ýokarda alynan we seredilen ulgamyň μ_u mukdar koeffisiýentiniň takyk ululygy aşakdaky görnüşde kesgitleniler.

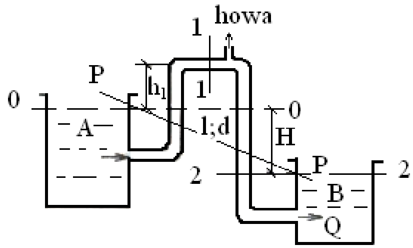
$$\mu_u = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\lambda\ell}{d} + \xi_d + 2\xi_z + 2\xi_t}} \tag{5.69}$$

bu ýerde ξ_d, ξ_z, ξ_t-deşigiň zadwižkanyň we tirsegiň ýerli garşylyk koeffisiýentleri. Ýokarda alynan (5.66) we (5.67) belgili formulalar gysga turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamalarynyň esasy formulalarydyr. Olar uniwersal häsiýete eýedirler. Eger-de $\ell = 0$ bolsa mesele suwuklyklaryň kiçi deşiklerdäki hereketine getirilýär. Onda deşikden akyp çykýan suwuklygyň mukdary $Q = \mu_d \omega \sqrt{2gH}$ bolar, bu ýerde $\mu_d = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_d}}$ - kiçi mukdar koeffisiýenti, H - deşikdäki akymy hereketlendiriji gidrostatiki napor ýa-da deşigiň çuňlugy. Eger-de turbageçirijiniň ℓ uzynlygy has uly bolsa, onda $\mu_u = \frac{1}{\sqrt{\lambda \ell / d}}$ kabul edip bolar hem-de akdyryjy ulgam uzyn ýa-da magistral turbageçiriji diýlip atlandyrylar. Bu ulgamyň hasaplama formulasy $Q = \frac{1}{\sqrt{\lambda \ell / d}} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2gH}$ görnüşde başlangyç H napora görä

$H = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5} \ell Q^2 = S_0 \ell Q^2 = \frac{\ell Q^2}{K^2}$ görnüşe getirilip biliner.

Gysga turbageçirijileriň käbir üýtgeşik aýratynlykly mysallaryna seredeliň.

Siffon turbageçirijileriň suwuklygy akdyrmak üçin akymda döreýän wakuumetriki basyşyň sorujy häsiýetinden peýdalanýarlar. Olar suw howdanlaryndan we magistral kanallardan suw almakda howdanlary we rezerwuarlary boşatmakda gidrihimiki desgalarda artyk suwy zyňmakda demirýol çeleklerini we nebit rezerwuarlaryny boşatmakda we arassalamakda giňden ulanylýar.



5.11-nji surat

5.11-nji suratda şekillendirilişi ýaly, ℓ uzynlykly we d diametrli siffon turbageçirijisi suwuklygy ýokarda ýerleşen A howuzdan aşakdaky B howuza akdyrýar. Turbageçirijiniň ℓ uzynlyk başlangyç bölegi A howuzyň derejesinde, h beýiklikde ýerleşdirilen. Howuzlaryň beýiklik derejeleri H tapawudy, siffon turbageçirijileriň hereketlendiriji naporydyr. Bu napor esasan turbageçirijiniň akymynda döreýän gidrawliki garşylyklary ýeňip geçmek üçin sarp edilýändir.

Ýokarda getirilen şertlerde siffon turbageçirijisiniňgeçirijilik ukyby (5.87) belgili formula boýunça kesgitleniler, onuň mukdar koeffisiýentiniň ululygy aşakdaky formula boýunça hasaplanylar:

$$\mu_u = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{\lambda\ell}{d}+\xi_g+2\xi_t+2\xi_ç}} \tag{5.70}$$

Bu ýerde

$\lambda -$siffon turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti $\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanyşyk esasynda kesgitlenilýär:

$\xi_g, \xi_t, \xi_ç -$siffon turbageçirijiniň degişlilikde girme, tirsekwe çykma ýerli garşylyk koeffisiýentleri.

Siffon turbageçirijiniň akymynyň basyşy položitel we otrisatel ululyklarda bolup bilýändir. Onuň P-P pýezometriki çyzygy (5.11-nji surat) basyşlaryň çäklerini kesgitleýän çyzykdyr. Siffon turbageçirijiniň P-P çyzykdan ýokardaky bölegi otrisatel ýa-da wakuumetriki basyşly sorujy bölegidir.

Siffon turbageçirijiniň gidrawliki hasaplamalarynyň hökmany suratda ýerine ýetirilmeli çözgütleriniň biri onuň iň ýokary h beýiklik derejesini takyk kesgitlemekdir. Bu beýiklik siffonyň sorujy beýikligi ýa-da suwuklygyň galdyrylmaly aňryçäk beýikligi diýilip atlandyrylýar. Sorulýan suwuklygyň hasaplama derejesine görä siffon turbageçirijileriň h beýikligi, 0-0 we 1-1 kesikler üçin ýazylan Bernulliniň deňlemesinden gelip çykýan kanuna laýyklykda kesgitlenilip biliner: siffon turbageçirijiniň dörедýän wakuumetriki sorujy $(P_a - P_1)/\rho g$ basyşy, suwuklygy h beýiklige galdyrmaklyga turbageçirijide akymyň $\frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g}$ hereket naporyny döretmeklige hem-de siffonyň sorujy böleginde naporyň $h_{f(0-1)}$ ýitgilerini ýeňip geçmeklige sarp edilýär, ýagny:

$$\frac{(P_a - P_1)}{\rho g} = h_1 + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} + h_{f(0-1)} \tag{5.71}$$

Onda, siffonyň oturdylmaly aňryçäk beýikligi

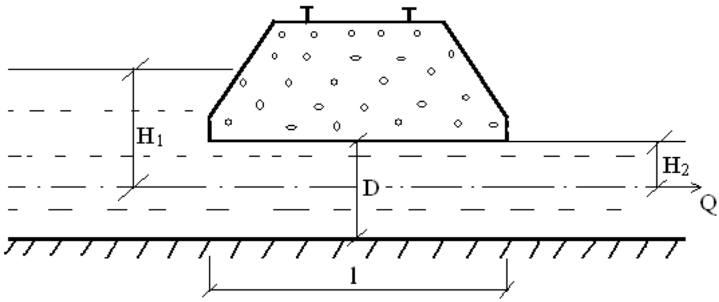
$$h_1 = \frac{(P_a - P_1)}{\rho g} - \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} - h_{f(0-1)} \tag{5.72}$$

Siffonyň sorujy böleginiň naporynyň ýitgisi $h_{f(0-1)} = (\frac{\lambda \ell}{d} + \xi_g + \xi_t)\frac{\vartheta_1^2}{2g}$ formula arkaly kesgitleniler.

Köp sanly praktiki maglumatlardan belli bolşy ýaly, siffon turbageçirijileriniň wakuumetriki sorujy beýikligi $\frac{(P_a - P_1)}{\rho g} = 6 - 7.5m$ (suw sütüni), siffonyň gurnalmaly aňryçäk beýikligi h_1=4-6m çäklerdedirler.

Siffon turbageçirijileri ilkinji işe goýberilende onuň ýokarky otrisatel basyşly sorujy bölegindäki howa wakuum nasosynyň kömegi bilen doly sorulyp aýrylmalydyr. Siffonyň ulanylyş prosesinde howa awtomatiki usulda, ýörite howa klapanlarynyň (wantuzlaryň) kömegi bilen üznüksiz kadada aýrylmalydyr. Şeýle-de siffon turbageçirijiniň akymynyň mukdar häsiýetnamasynyň we wakuumetriki sorujy basyşynyň amatly sazlaşygyny üpjün etmek üçin onuň soňunda sazlaýjy zadwişka oturdylýar.

Ýol turbageçirijileri (5.12-nji surat) gysga turbageçirijileriniň giň ýaýran mysalydyr. Olar demir we gara ýollaryň aşagyndan keseligine ýörite normatiw talaplara laýyklykda geçirilýärler hem-de çagba ýagyşlarynyň sil görnüşli Q mukdarly akymlaryny berlen kadada akdyryp geçirmek üçin niýetlenilýärler.



5.12-nji surat.

Akymyň hereketlendiriji napory $H=H_1-H_2$ ululyga deňdir hem-de ýol turbageçirijisinde ýüze çykýan gidrawliki garşylyklary ýeňip geçmek üçin sarp edilýändir.

Ýol turbageçirijisiniň berlen H_1, H_2, ℓ we D ululyklarda üpjün edýän geçirijilik ukyby aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

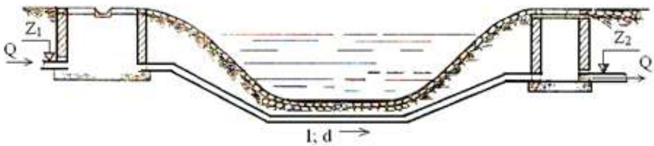
$$Q=\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{2g(H_1-H_2)}{1+\frac{\lambda\ell}{D}+\xi_g+\xi_ç}} \qquad (5.73)$$

Köp halatlarda ýol turbageçirijileriniň gidrawliki hasaplama meselesi berlen sil akymynyň Q mukdarynyň talap edýän başlangyç naporyň H_1 beýikligini kesgitlemeklige getirilýär hem-de bu ululyk ýoluň hakyky beýikligi bilen deňeşdirilýär:

$$H_1=H_2+\frac{8Q^2}{g\pi^2D^2}\cdot\left(1+\frac{\lambda\ell}{D}+\xi_g+\xi_ç\right) \qquad (5.74)$$

Ýokarda getirilen (5.73) we (5.74) belgili formulalarda λ, ξ_g, $\xi_ç$ ýol turbageçirijisiniň degişlilikde gidrawliki sürtülme hem-de akymyň turba girme we ondan çykma ýerli garşylyk koeffisiýentleri. Olar öň jikme-jik seredilen belli baglanyşyklar esasynda hasaplanylýarlar ýa-da kabul edýärler.

Dýuker turbageçirijileri naporly we naporsyz akymly turbageçirijileriniň tebigy we emeli suw päsgelçiliklerinden geçýän ýörite gysga bölekleridir. Olar derýalaryň, kanallaryň, jarlaryň aşaklaryndan keseligine aýratyn normatiw talaplara laýyklykda gurnalýarlar.



5.13-nji surat

5.13-nji suratda suw päsgelçiliginden geçirilen naporsyz, özi akýan akymly dýuker turbageçirijisiniň shemasy şekillendirilen. gysga turbageçirijilere mahsus boluşy ýalyt, seredilýän dýuker turbageçirijisiniň hereketlendiriji napory $H=Z_1-Z_2$ ululylyga deňdir. Bu ýerde Z_1 we Z_2 ululyklar dýuker turbageçirijiniň başlangyç we ahyrky nokatlarynyň geodeziki belgileridir.

Naporsyz dýuker turbageçirijisiniň esasy gidrawliki hasaplama formulasy ýokarda seredilen gysga turbageçirijiniň hasaplama formulalaryndan gelip çykar hem-de dýukeriň gurluş aýratynlyklaryny hasaba alar, ýagny:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{2g(H_1-H_2)}{1.1(1+\frac{\lambda\ell}{d}+\xi_g+\xi_ç+4\xi_ö)}} \qquad (5.75)$$

Ýa-da

$$H = \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^2} \cdot 1.1(1 + \frac{\lambda\ell}{d} + \xi_g + \xi_ç + 4\xi_Q) \qquad (5.76)$$

Täze gurulýan dýuker turbageçirijileriniň gidrawliki hasaplamalarynda, esasan (5.75) belgili formula boýunça dýukeriň Q geçirijilik ukybyny üpjün edýän d diametriniň ululygy kesgitleniler. Käbir hasaplamalarda dýukeriň kabul edilen d diametri boýunça, berlen Q mukdary üpjün edýän dýuker turbalarynyň sany kesgitlenilýär. Ýokardaky hasaplama formulalarynda 1.1 ululykly köpeldiji dýukeriň turbalar seplemlerindäki hem-de beýleki hasaby`

5.10. Turbageçirijilerde gidrawliki urgular

Gidrawliki urgular turbageçirijileriň akymlarynyň durnuksyz hereketi bilen baglanyşyklydyr. Gidrawliki urgy diýilip turbageçirijilerdäki akymyň tizliginiň çalt üýtgemegi (ulalmagy ýa-da kiçelmegi) bilen baglanyşyklykda gidrodinamiki basyşyň birden üýgemesine (kiçelmesi ýa-da ulalmasy) aýdylýar. Naporly magistral turbageçirijilerde we setlerde gidrawliki urgular ýapyjy enjamlaryň (zadwižkalar, wentiller, zatworlar) bada-bat ýapylmasy ýa-da açylmasy, nasos agregatlarynyň duýdansyz duruzylmasy ýa-da işledilmesinetijesinde döreýärler. Gidrawliki urgy pursadynda turbageçirijiniň basyşy birnäçe esse ulalýar hem-de urga garşy degişli çäreleriň görülmedik ýagdaýynda akdyryjy ulgamlarda adatdan daşary mehaniki zeperlenmeler we ýykgynçylyklar döreýärler.

Turbageçirijili akdyryjy ulgamlarda gidrawliki urgy hadysasy XIX asyryň başlarynda meşhur rus alymy, akademik N.Ýe.Žukowskiý tarapyndan çuňňur öwrenildi hem-de bu barada ýörite ylmy nazaryýeti esaslandyryldy.

N.Ýe.Žukowskiýniň ylmy nazaryýeti aşakdaky esasy netijelere esaslanandyr:

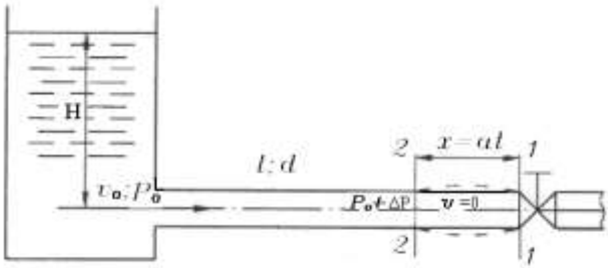
- gidrawliki urgy durnuksyz yrgyldyly (fazaly hem-de periodly) prossesdir;

- gidrawliki urgynyň döremegi we ýaýramagy urgy tolkunynyň hereketi bilen baglanyşyklydyr;

- urgy tolkunynyň basyşy suwuklygy gysmaklyga hem-de turbanyň diwarynyň radiýal ugurda deformirlenmesine sarp edilýär;

- gidrawliki urgular göni (doly) ýa-da göni däl (doly däl) görnüşlerde bolup bilýärler.

Göni gidrawliki urgy hadysasyna açyk rezerwuara çatylan l uzynlykly, d diametrli ϑ_0 tizlikli we P_o basyşly ýonekeý gorizontal turbageçirijiniň mysalynda seredeliň (5.14-nji surat).



5.14-nji surat

Turbageçirijiniň soňynda oturdylan ýapyjy zadwižka badabat ýapylanda akymyň $m\vartheta_0$ ululykly hereket mukdary basyş impulsyna (urgusyna) $\Delta P\omega t$ öwrülýär. Basyş impulsy gidrostatiki basyşyň häsiýetine doly eýerip, suwuklygy çalt üýtgeýän $x = at$ aralykda gysýar.

Gysylýan suwuklyk öz tutýan göwrümini ujypsyz möçberde üýtgedýänligi sebäpli, ΔP ululykly goşmaça döreýän gidrawliki urgy basyşy turbanyň we ýapyjynyň diwarlaryna täsir edýän süýdiriji güýç görnüşinde ýaýraýar.

Onda, seredilýän mysalda hereket mukdarynyň üýtgeme teoremasyna esaslanyp, gidrawliki urgy basyşynyň ΔP ululygyny kesgitläp bolar, ýagny:

$$m\vartheta_0 = \Delta P\omega t \tag{5.77}$$

Ýa-da

$$\rho\frac{\pi d^2}{4}l\vartheta_0 = \Delta P\frac{\pi d^2}{4}t \tag{5.78}$$

$$\Delta P = \rho\frac{l}{t}\vartheta_0 = \rho a\vartheta_0 \tag{5.79}$$

Bu ýerde

$\rho -$suwuklygyň agram dykyzlygy, kgg/m^3;

$t -$başlangyç belgili gidrawliki urgytolkunyň ýaýraýan wagty ýa-da gidrawliki urgynyň periody, sek;

$a = \frac{l}{t} -$ urgy tolkunynyň ýaýraýan tizligi, m/sek;

$\omega = \frac{\pi d^2}{4} -$ turbanyň meýdany ýa-da akymyň janly kesigi, m^2;

$m = \rho\omega l -$ turbageçirijidäki akymyň massasy, kgg;

Ýokarda alynan (5.79) belgili formula göni (doly) gidrawliki urgy basyşynyň ululygyny kesgitlemek üçin gidrawlika ylmynda giňden ulanylýan N.Ýe.Žukowskiýniň formulasydyr. Bu formula gidrawliki urgy basyşynyň ululygynyň yrgy tolkunynyň ýaýraýan tizliginiň “getirilen dinamiki basyşy” görnüşinde kesgitlenilýändigini subut edýär. Urgynyň “getirilen dinamiki basyşy” ϑ_0 we a tizlikleriň köpeltmek hasylydyr.

Gidrawliki urgy tolkunynyň ýaýran tizligi aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{S}}}{\sqrt{1+\frac{K}{E}\cdot\frac{d}{\delta}}} \tag{5.80}$$

Bu formulada

$K -$ suwuklygyň göwrüm gysylma garşylyk moduly (1.3-nji bölümde getirilen);

$E -$ turbanyň materiýalynyňgarşylyk moduly;

$\delta -$ turbanyň diwarynyň galyňlygy;

Aşakda 5.3-nji tablisada suw akymly käbir turbageçirijileriň K we E ululyklary getirilýär.

5.3-nji tablisa

Materiallar	$\frac{\boldsymbol{K}}{\boldsymbol{E}}$	E, kg/m^2
Suw	1.0	$2.07 \cdot 10^8$
Polat	0.01	$2.0 \cdot 10^{10}$
Çoýun	0.02	$1.0 \cdot 10^{10}$
Beton	0.1	$2.0 \cdot 10^9$
Agaç	0.2	$1.0 \cdot 10^9$
Gurşun	0.4-10	$5 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^7$

Suw we gaz akdyrylýan turbageçirijilerde gidrawliki urgularyň ululuklaryny deňeşdireliň. Suwda we howada sesiň ýaýrama tizligi 1300 we 470 m/sek, turbageçirijilerde degişlilikde akymyň orta tizlikleri 1.5 (suw) we 50 (gaz, howa) m/sek. Suwyň dykyzlygy howanyň dykyzlygyndan 900 esse uly. Onda göni gidrawliki urguda howa we suw geçiriji turbalarynda basyşlaryň ulalma gatnaşyklaryny kesgitläliň:

$$\frac{(\rho a \vartheta_0)howa}{(\rho a \vartheta_0)suw} = \frac{1 \cdot 470 \cdot 50}{900 \cdot 1300 \cdot 1.5} = 0.013$$

Diýmek, seredilen deň şertlerde, göni gidrawliki urguda howa (gaz) akymynyň basyşynyň ulalmasy suw akymy bilen deňeşdirilende 0.013 esse kiçidir ýa-da suw akymynyň basyşynyň ulalmasynyň diňe 1%-ni howa (gaz) akymynyň basyşynyň doly ulalmasyny emele getirýär. şonuň üçin, suw we howa (gaz) ýapyjylary biri-birinden düýpli tapawutlanýarlar. Suw ýa-da suwuklyk akymlaryny ýapyjy armaturalar köp aýlawly wintli görnüşde gurnalýarlar, howa ýa-da gaz akymlarynyň ýapyjylary az aýlawly ýa-da aýlawsyz görnüşde (probkaly, şarly, zaslonkaly, drosselli) ýasalýarlar. Howa ýa-da gaz geçirijilerinde gidrawliki urgy basyşynyň esasan gazy gysmaklyga sarp edilýänligi bilen düşündirilýär.

Dürli diametri we dürli galyňlykly polat suw geçirijilerinde gidrawliki urgy tolkunynyň ýaýrama tizlikleri 5.4-nji tablisada getirilýär.

5.4-nji tablisa

d, mm	50	100	150	200	250	300	600
δ, mm	7.0	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	18.0
a, m/sek	1348	1289	1255	1209	1187	1167	913

Ýokarda, gidrawliki urgy basyşynyň ululygy göni urgy üçin ýagny, zadwižkanyň bada-bat ýapylmasy bilen baglanyşyklykda döreýän urgy seredildi. Indi zadwižka haýal ýapylanda, göni däl (doly däl) diýilip atlandyrylýan gidrawliki urgy basyşynyň ululygyny kesgitläliň. Onuň üçin zadwižkanyň ýapylma t_z wagtynyň gidrawliki urgynyň doly t_p periodynyň hem-de urgy tolkunynyň ýaýrama a tizliginiň arabaglanyşygyna seredeliň.

Gidrawliki urgynyň doly periody diýilip bir belgili urgy basyşynyň saklanýan wagtyna ýa-da urgy fazasynyň dowamlylygyna aýdylýar. Urgy fazasynyň dowamlylygy urgy tolkunynyň döreýän 1-1 kesigine gaýdyp gelýän wagtyna deňdir. Onda gidrawliki urgynyň doly periody aşakdaky aňlatma boýunça kesgitlenilmeli:

$$t_P = \frac{2l}{a} \tag{5.81}$$

Şeýle-de, gidrawliki urgularyň görnüşlerini kesgitlemegiň esasy şerti urgynyň doly t_p periodynyň we onuň döreýän (zadwižkanyň ýapylma) t_z wagtynyň özara deňeşdirilmesine baglydyr.

Eger-de $t_z < t_P$ bolsa onda akdyryjy ulgamda göni (doly) gidrawliki urgy döreýär, eger-de $t_z \geq t_P$ bolsa onda gidrawliki urgy göni däl (doly däl) görnüşde döreýär.

Göni däl gidrawliki urgularda urgy tolkunynyň ýaýrama a tizligini aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:

$$a = \frac{2l}{t_z} \tag{5.82}$$

Onda, gidrawliki urgy basyşynyň ululygyny aşakdaky görnüşde kesgitläp bolar:

$$\Delta P = \rho\vartheta_0 \frac{2l}{t_z} \tag{5.83}$$

Soňky alynan (5.83) belgili formula göni däl gidrawliki urgy basyşynyň ululygyny hasaplamagyň esasy formulasydyr. Onuň kömegi bilen berlen ýa-da kabul edilýän urgy basyşynyň P_u ululygyny üpjün edýän gidrawliki urgynyň döreme wagtyny kesgitläp bolar, ýagny:

$$t_z \geq \rho\vartheta_0 \frac{2l}{P_u} \tag{5.84}$$

Bu ýerde

$$P_u = P_0 + \Delta P \tag{5.84}$$

Belgili formula basyşly suwuklyk akdyryjy ulagamlarda has howply göni gidrawliki urgynyň döremezligini üpjün edýän esasy şertdir.

5.11. Gazgeçirijileriň gidrawliki hasaplamalary

Dürli görnüşli gazgeçirijileri gaz ojaklarynda, tilsimat we senagat desgalarynda, jaýlarda hem-de kärhanalarda giň ýaýran inžener kommunikasiýalarydyr.

Turbalar arkaly akdyrmak hem-de gidrawliki hasaplama meselelerinde tebigy we emeli gazlar, howa we suw bugy biri-birinden tapawutlanmaýarlar.

Gazgeçirijilerini ýokarda seredilen suwuklyk akdyryjy turbageçirijilerinden tapawutlandyrýan aýratynlyk, olaryň fiziki häsiýetleriniň tapawudyndan gelip çykýandyr. Turbalar arkaly akdyrmak prosesinde başlangyç P_1 we ahyrky P_2 basyşlaryň absolýut tapawudynyň $\Delta P = P_1 - P_2$ ululygy ýa-da turbageçirijileriň dürli ululykly $P_{or} = \frac{(P_1+P_2)}{2}$ orta basyşy akdyrylýan suwuklygyň fiziki häsiýetlerine hem-de akymyň esasy gidrawliki häsiýetnamalaryna täsir etmeýän bolsalar, gaz akymlarynda olar hereketiň görnüşlerine, göwrüm gysylmasyna, dykyzlygyna, tizligine hem-de sürtülme garşylygyna mese-mälim derejede täsir edýärler.

Gidrawliki hasaplama meselelerinde gaz geçirijileri iki görnüşde bölünýärler:

1. Kiçi otnositel basyş tapawutly gaz geçirijileri, olarda $\frac{\Delta P}{P_{or}} < 5\%$ akdyrylýan gazyň gysylmasyny hasaba almak hökmany däldir, onuň dykyzlygy hemişelikdir, gidrawliki hasaplama formulalary suwuklyklar bilen meňzeşdirler.
2. Uly otnositel basyş tapawutly gaz geçiriji, olarda $\frac{\Delta P}{P_{or}} > 5\%$, hereketiň dowamynda gazyň göwrüm gysylmasy, üýtgemeýän dykyzlygy we tizligi hasaba alynmalydyr.

Akdyrylýan gazyň orta basyşynyň absolýut ululygy P_{or} boýunça magistral gaz geçiriji turbalary we setleri aşakdaky görnüşe bölünýärler:

1. Pes basyşly gaz geçiriji turbalary we setleri, olarda $P_{or} \leq 0.005\ MPa$ (500 mm suw sütüni);
2. Orta basyşly gaz geçiriji turbalary we setleri, olarda $P_{or} = 0.005 - 0.03\ MPa$ çäklerde bolup biler;
3. Ýokary basyşly ikinji derejeli gaz geçirijileri, olarda $P_{or} = 0.03 - 0.06\ MPa$;
4. Ýokary basyşly birinji derejeli gaz geçirijileri, olarda $P_{or} > 0.6\ MPa$.

Pes basyşly gaz geçiriji turbalary we setleri ýaşaýyş we oňa deňelen jaýlarda, orta basyşly gaz geçirijileri senagat kärhanalarynda, gazan we ýyladyş desgalarynda, ýokary basyşly gaz geçirijileri uly ýylylyk energetiki ýa-da gaz turbina desgalarynda, şäherara ýa-da halkara magistral gaz geçirijilerinde ulanylýarlar.

Pes otnositel basyş tapawutly gaz geçirijileriň gidrawliki hasaplamalary ýönekeý naporly turbageçirijileriň gidrawliki hasaplamalaryna (5.2 bölüm) meňzeşdir.

Dogrudan hem, gorizontal deňölçegli hereketli gaz geçirijiniň 1-1 hem-de 2-2 kesikleri üçin turbanyň uzynlyk simmetriýa okuna görä ýazylan hem-de ähli agzalan basyş birligine getirilen. Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşe geler:

$$P_1 - P_2 = \Delta P_f \tag{5.85}$$

Bu ýerde

ΔP_f –gaz geçirijide basyşyň umumy ýitgisi (5.85) belgili deňlemeden görnüşi ýaly, gaz geçirijiniň uzaboýuna başky we ahyrky basyşlaryň tapawudy ýa-da gaz akymyny hereketlendiriji basyş, esasan ýitgileri ýeňip geçmek üçin sarp edilýär.

Umumy görnüşde, seredilýän gaz geçirijide basyşyň ýitgisi ΔP_f, basyş birligine getirilen Darsi - Weýsbahyň formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$\Delta P_f = \Delta P_e + \Delta P_ý \quad (5.86)$$

Bu ýerde

ΔP_e −basuşyň uzynlyk sürtülme ýitgisi, ululygy Darsiniň $\Delta P_e = \frac{\lambda l}{d} \rho \frac{\vartheta^2}{2}$ formulasy boýunça kesgitlenilýär;

$\Delta P_ý$ −basyşyň ýerli sürtülme ýitgisi, ululygy Weýsbahyň $\Delta P_ý = \sum \zeta_ý \rho \frac{\vartheta^2}{2}$ formulasy boýunça kesgitlenilýär.

Onda

$$\Delta P_f = (\frac{\lambda l}{d} + \sum \zeta_ý) \rho \frac{\vartheta^2}{2} \quad (5.87)$$

Uzyn ýa-da magistral pes basyşly gaz geçirijileri üçin (5.29) belgili formula aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner:

$$\Delta P_f = 1.1 \Delta P_e = 1.1 \frac{\lambda l}{d} \rho \frac{\vartheta^2}{2} \quad (5.88)$$

Umumy görnüşde pes basyşly magistral gaz geçirijiniň esasy gidrawliki hasaplama formulasy (5.86)we (5.88) bilelikde sereredilen) şeýle ýazylar:

$$P_1 = P_2 + 1.1 \frac{\lambda l}{d} \rho \frac{\vartheta^2}{2} \quad (5.89)$$

Soňky formulada gaz geçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululugyny Altşulyň $\lambda = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{d} + \frac{68}{Re})^{0.25}$ formulasy boýunça kesgitlemeklik maslahat berilýär.

Howa çalşyk ulgamlarynyň howa geçirijileri gidrawliki häsiýetnamalary boýunça kiçi otnasitel basyş tapawutly gaz geçirijilerine meňzeşdir. Gidrawliki garşylyk düzümi boýunça olar gysga basyşly turbageçirijilere girýärler. Diýmek, howa geçirijileriň esasy gidrawliki hasaplama formulasy (5.87) belgili formuladan alnyp biliner.

Howa geçirijiler esasan axb ölçegli ýapyk kanallar görnüşinde gurnalýarlar. Şonuň üçin hasaplama formulalarda d turbanyň diametriniň ýerine kanalyň ekwiwalent diametri d_{ekw}=4R, $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\mathrm{ab}}{2(\mathrm{a}+\mathrm{b})}$ ulanylmalydyr. Şeýle-de howa geçiriji kanallaryň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululugy Altşulyň uniwersal formulasy boýunça kesgitlenilmeli, $\chi = 0.11\left(\frac{\Delta_{\mathrm{ekw}}}{\mathrm{d_{ekw}}} + \frac{68\lambda}{\vartheta \mathrm{d_{ekw}}}\right)^{0.25}$. Howa geçiriji kanalyň ýeli gidrawliki garşylyklary takyk we Reýnoldsyň sanyna baglylykda hasaplamaly. Onda howa geçiriji kanallaryň esasy gidrawliki hasplama formulasy aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\Delta P_f = \left[\frac{0.11}{d_{ekw}} \cdot \left(\frac{\Delta_{ekw}}{d_{ekw}} + \frac{68\lambda}{\vartheta \mathrm{d_{ekw}}}\right)^{0.25} + \sum \zeta_{ý}\right] \cdot \rho \frac{\vartheta^2}{2} \qquad (5.90)$$

Ýerli gidrawliki garşylyklaryň görnüşleri we koeffisiýentleriň jemi $\sum \zeta_{ý}$, howa geçirijiniň plan-shematiki şekiline görä kabul edilmeli hem-de kesgitlenilmeli.

<u>Pes basyşly magistral gaz geçirijileriniň gidrawliki hasaplama</u> (5.31) belgili formulada gaz geçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygyny A.D.Altşulyň $\chi = 0.11\left(\frac{\Delta_{\mathrm{ekw}}}{\mathrm{d}} + \frac{68\lambda}{\vartheta \mathrm{d}}\right)^{0.25}$, gaz akymynyň tizligini $\vartheta = 4Q/\pi d^2$ formulalary boýunça aňladyp, aşakdaky normatiw resminamalaryň hödürleýän formulasyny alarys:

$$\Delta P_e = 7\left(\frac{\Delta_{\mathrm{ekw}}}{\mathrm{d}} + \frac{1922 d\,\nu}{Q}\right)^{0.25} \cdot \frac{\gamma l \mathrm{Q}^2}{\mathrm{d}^5} \qquad (5.91)$$

Bu ýerde

ΔP_e –basyşyň uzynlyk sürtülme ýitgisi, mm suw sütüni ýa-da Pa;

l –gazgeçirijiniň hasaplama uzynlygy, m;

Δ_{ekw} –gaz geçirijiniň içki diwarynyň ekwiwalent büdür-südürligi, sm;

d $-$gaz geçirijiniň diametri, sm;

ν - akdyrylýan gazyň şepbeşikligini kinematiki koeffisiýenti, m^2/sek;

Q - gaz akymynyň mukdary, m^3/sag;

γ $-$gazyň normal şertlerdäki udel agramy, kG/m^3.

Gaz geçirijiniň turbulent garşylyk zolagynyň görnüşi boýunça, onuň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygyny kesgitlemek üçin ulanylýan formulalara baglylykda, (5.91) belgili formula ýönekeýleşdirilen görnüşlerde ulanylyp biliner:

Eger-de gaz akymyň tizligi $\vartheta \leq 3\ \mathrm{m/sek}$ hem-de $\frac{\Delta_{\mathrm{ekw}}}{\mathrm{d}} \ll \frac{1922d\nu}{Q}$ bolsa, onda gidrawliki ylmanak garşylyk zolakly pes basyşly gaz geçirijileri üçin

$$\Delta P_e = \frac{46.5\,\nu^{0.25}\gamma l \mathrm{Q}^{1.75}}{\mathrm{d}^{4.75}} \qquad (5.35)$$

Eger-de $\frac{\Delta_{\mathrm{ekw}}}{\mathrm{d}} \gg \frac{1922d\nu}{Q}$ hem-de gaz akymynyň tizligi $\vartheta > 3\ m/sek$ bolsa, onda doly büdür-südür kwadratly garşylykly pes basyşly gaz geçirijileri üçin

$$\Delta P_e = \frac{7\Delta_{\mathrm{ekw}}^{0.25}\gamma l \mathrm{Q}^2}{\mathrm{d}^{5.25}} \qquad (5.36)$$

hasaplama formulalary alynýar.

(5.36) belgili formula täze polat gaz geçiriji turbalary üçin ($\Delta_{\mathrm{ekw}} = 0.1\mathrm{mm}$) aşakdaky gysgaldylan görnüşe geler:

$$\Delta P_e = \frac{2.22\gamma \mathrm{Q}^2}{\mathrm{d}^{5.25}} \qquad (5.37)$$

Ýokary we orta basyşly ýa-da uly otnasitel basyş tapawutly gaz geçirijileriniň gidrawliki hasaplamalarynda olaryň uzynlygynyň onlarça we ýüzlerçe kilometrligi sebäpli döreýän basyşlaryň tapawutlarynyň täsiri doly derejede göz öňünde tutylmalydyr. Dogrudan hem şu döwürde Türkmenistanyň ýokary basyşly halkara magistral gaz geçirijilerinde gaz akymynyň başlangyç basyşy 7.5-10 MPa, gaz gysyjy kompresor stansiýalarynyň aralarynda basyşlaryň tapawudy 4-6 MPa çäklerde kabul edilýär.

Uly basyş tapawutly gaz geçirijileriniň gidrawliki hasaplamalkary akdyrylýan gazyň häsiýetlerine hasaba alynmaly derejede täsir edýän aşakdaky aýratynlyklary göz öňünde tutmalydyr.

- Gaz geçirijiniň uzaboýuna gaz akymynyň dykyzlygynyň peselmegini;
- Gaz akymynyň hereketiniň deňölçegsiz görnüşine geçirilmegini;
- Gaz akymynyň hereket ugruna onuň tizliginiň ulalmagyny;
- Gaz geçirijiniň başdaky we ahyrky basyşlarynyň tapawudynyň esasan sürtülme ýitgilere sarp edilýändigini.

Gidrogazodinamikanyň ikinji babynda seredilen esasy deňlemelerini ýokary basyşly gaz geçirijiniň gidrawliki hasplamalarynda ulanmak üçin, dl elementar uzynlykly gaz akymynda ρ dykyzlygyň we ϑ tizligiň üýtgemeýän ululyklarynda kabul edilip bilindiginden peýdalanyp (5.28) görnüşli Bernulliniň deňlemesini ýazalyň:

$$-dP = dP_e \qquad (5.38)$$

Deňlemäniň sag tarapyndaky basyşyň elementar uzynlyk sürtülme ýitgisini Darsiniň formulasy bilen kesgitläliň:

$$-dP = \lambda \frac{dl}{d} \rho \frac{\vartheta^2}{2} \qquad (5.39)$$

Soňky differensiýal deňlemäni integrirlemek üçin gaz geçirijiniň uza boýuna ϑ tizligiň, ρ dykyzlygyň we λ gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň üýtgeme häsiýetnamalary belli bolmalydyr. Diýmek, $\vartheta = f(l), \rho = f(l)$ we $\lambda = f(l)$ baglanyşyklar gaz akymynyň termodinamiki häsiýetnamalaryna laýyklykda kesgitlenilmelidir. Magistral gaz geçirijileri ýylylyk izolirlenmesiz gurnalýandyklary sebäpli, gazyň T temperaturasy daşky gurşawyň temperaturasyna deň hemişelik ululykda saklanýar. Bu izotermiki akyş kadasy, ýeriň azyndan 1.5-2.0 m çuňlugyň geçirilýän ähli gaz geçirijilerine mahsusdyr.

Gaz geçirjilerinde Reýnoldsyň sanyny aşakdaky görnüşde kesgitläp bolar:

$$Re = \frac{\vartheta d}{\nu} = \frac{\rho \vartheta d}{\mu} = \frac{4\rho Q}{\pi d \mu} = \frac{4M}{\pi d \mu} \tag{5.92}$$

Bu ýerde

μ –gazyň şepbeşikliginiň dinamiki koeffisiýenti,

M –gaz akymynyň massa mukdary.

Izotermiki kadaly gaz akymlarynda gazyň temperaturasynyň üýtgemeýänligi sebäpli onuň dinamiki şepbeşikligi gaz geçirijiniň uzaboýuna hemişelik ululygyny saýlanar. Onda, (5.40) aňlatmadan görnüşi ýaly gaz geçirijiniň Reýnolds sany hem öz ululygyny üýtgetmeýär. Şeýlelikde, gaz akymynyň dykyzlygynyň we orta tizliginiň garşylykly gatnaşykda üýtgemesine garamazdan, gaz geçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti, $\lambda = \mathrm{f}(\mathrm{Re}; \frac{\Delta_{\mathrm{ekw}}}{\mathrm{d}})$ baglanyşyk esasynda kesgitlenilýän ululygyny üýtgetmeýär.

(5.92) belgili deňlemäni, gaz akymynyň mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesinden $\vartheta\rho = \vartheta_1\rho_1 = \cdots = \mathrm{cons}\,t\,,\ \vartheta = \frac{\vartheta_1\rho_1}{\rho}$ baglanyşygy ulanyp, gaz hereketiniň başlangyç ϑ_1 tizligine getireliň:

$$-dP = \lambda \frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}} \cdot \frac{\rho_1^2}{\rho} \cdot \frac{\vartheta_1}{2} \tag{5.93}$$

(5.93) belgili deňlemede $\frac{\rho_1^2}{\rho}$ gatnaşyk üçin gaz halynyň deňlemesini ulanyp alarys:

$$\frac{\rho_1^2}{\rho} = \frac{\mathrm{P}_1^2}{\mathrm{PRT}} \tag{5.94}$$

Onda (5.93) belgili deňleme şeýle ýazylar:

$$-PdP = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\vartheta_1^2}{2\mathrm{g}} \cdot \frac{\mathrm{P}_1^2}{\mathrm{RT}} \mathrm{d}l \tag{5.95}$$

Soňky differensiýan deňlemäni P_1 we P_2 basyşlaryň çäklerinde integrirläp deňleme aşakdaky görnüşde getiriler:

$$\frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2} = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{\vartheta_1^2}{2} \cdot \frac{\mathrm{P}_1^2}{\mathrm{RT}} \tag{5.96}$$

$\rho_1 = \frac{P_1}{RT}$ gatnaşygy göz öňünde tutyp alarys:

$$\frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2} = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{\vartheta_1^2}{2} \cdot \mathrm{P}_1 \rho_1 \tag{5.97}$$

Ýa-da

$$\frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2\mathrm{P}_1} = \frac{\lambda l}{d} \rho_1 \frac{\vartheta_1^2}{2} \tag{5.98}$$

Soňky deňlemäniň çep tarapyny üýtgedip ýazyp (5.46) deňleme şeýle ýazylar:

$$P_1 - P_2 = \frac{2}{2 - \frac{\Delta P}{P_1}} \cdot \frac{\lambda l}{d} \rho_1 \frac{\vartheta_1^2}{2} \tag{5.99}$$

Alynan (5.47) belgili deňleme uly atnositel basyş tapawutly gazgeçirijileriň esasy gidrawliki hasaplama formulasydyr. Bu formula suwuklyk akymlary üçin ulanylýan Darsiniň formulasyndan atnositel basyş tapawudynyň ululygy bilen kesgitlenýän agzanyň girizilendigi bilen tapawutlanýar. Diýmek gaz geçirijileriň gidrawliki hasaplamalarynda Darsiniň nusgawy formulasynyň çägi $\frac{\Delta P}{P_1} < 5\%$ şert bilen çäklendirilýär.bu şerti kanagatlandyrýan ähli meseleleriň çözgüdinde hasaplama ýalňyşlyklary $\pm 2.5\%$-den uly bolmaýar. $\frac{\Delta P}{P_1} > 5\%$ şertli ähli meselelerde gaz geçirijileriň gidrawliki hasaplamalary (5.47) belgili deňleme boýunça ýerine ýetirilmelidir.

Gaz geçirijilerde berlen P_1 we P_2 basyşžaryň tapawudyny kanagatlandyrýan gaz akymynyň agram mukdarynyň ululygy aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$G = \frac{\pi g}{4}\sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda l} \cdot \frac{d^5 \rho_1}{P_1}} \qquad (5.100)$$

Turbulent hereket kadaly gaz akymlarynyň ähli gidrawliki garşylyk zolaklarynyň gidrawliki sürtülme koeffisiýenti üçin Altşulyň uniwersal formulasyny ulanyp normatiw resminamalaryň hödürlenýän esasy gidrawliki hasaplama formulasyny alarys:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{\alpha} = 1.45\left(\frac{\Delta_{\mathrm{ekw}}}{\mathrm{d}} + 1922\,\frac{d}{Q}\right)^{0.25}\frac{\gamma Q^2}{d^5} \qquad (5.101)$$

Bu ýerde

P_1 we P_2 –başky we ahyrky absolýut basyşlary

α –gaz geçirijiniň uzynlygy, km;

d –gaz geçirijiniň diametri, sm;

Δ_{ekw} –gaz geçiriji turbanyň ekwiwalent büdür-südürligi, sm;

γ –gazyň udel agramy, kG/m^3;

Q –gaz akymynyň mukdary, m^3/sag;

ν- gazyň kinematiki şepbeşikligi, m^2/sek.

Gidrawliki ýylmanak, $\frac{\Delta_{ekw}}{d} \ll 1922\frac{d\nu}{Q}$ hem-de doly büdür-südür garşylykly $\frac{\Delta_{ekw}}{d} \gg 1922\frac{d\nu}{Q}$ zolak üçin degişlilikde aşakdaky ýönekeýleşdirilen hasaplama formulany alarys:

$$\frac{P_1^2-P_2^2}{\alpha} = \frac{9.6\,\nu^{0.25}\gamma Q^{1.75}}{d^{4.75}} \tag{5.102}$$

$$\frac{P_1^2-P_2^2}{\alpha} = \frac{1.45Q^2\Delta_{ekw}^{0.25}}{d^{5.25}} \tag{5.103}$$

Soňky hasaplama formulalaryň ulanylyş çäkleri, şeýle-de gaz akymynyň tizlikleri bilen naglanyşykdadyr.Gidrawliki ýylmanak garşylykly gaz akymlary üçin bu tizlik $\vartheta = 0.3 \div 50$ m/sek, kwadratly garşylykly gaz akymlary üçin bolsa $\vartheta > 50$ m/sek kabul edilýär.

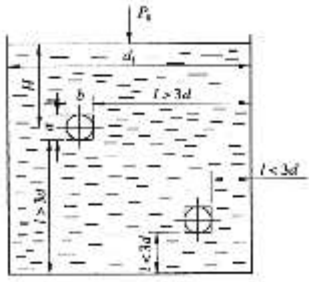
6. SUWUKLYGYŇ DEŞIKLERDEN WE GEÝDIRILÝÄN BÖLEKLERDEN AKYP ÇYKMAKLYGY

Köp tehniki meselelerde wagt dowamynda rezerwuarlardan akyp çykýan suwuklygyň möçberi ölçenilende we olaryň çalt boşadylmaklygy üpjün edilende, erkin akymlar hasaplanylanda, lüleler we forsunkalar konstruirlenilende, suwuklygyň bir rezerwuardan beýlekisine akyp geçmek şertleri kesgitlenilende we şuňa meňzeş başga ýagdaýlarda suwuklygyň beýleki rezerwuara akyp geçişindäki akgynyň (akymyň) parametrlerini kesgitlemek meselesini çözmeli bolýar. Aşakda käbir möhüm praktiki meseleleriň çözüwleri berilýärler.

Umuman aýdanyňda, suwuklygyň deşiklerden we geýdirilýän böleklerden akyp çykmaklygy rezerwuarda saklanylýan suwuklygyň potensial energiýasynyň käbir ýitgiler bilen akyp çykýan akymyň kinetiki energiýasyny özgerdýänligi bilen häsiýetlendirilýär.

6.1. ÝUKA DIWARDAKY KIÇI DEŞIKDEN HEMIŞELIK BASYŞDA AKYP ÇYKMAK

Kiçi desik diýip d diametri ýa-da h beýikligi onuň agyrlyk merkeziniň çümdürilmekliginiň H çuňlugyndan şeýle az bolan, şonda şeýle deşigiň ähli nokatlaryny deşigiň agyrlyk merkezi H bilen bir çuňlukda ýerleşen diýip hasaplamak mümkin bolan deşige aýdylýar. Şol sebäpli deşigiň ähli nokatlaryndaky basyşy düýpli nätakyklyklary goýbermän şol bir meňzeş we onuň agyrlyk merkezindäki basyşa deň diýip hasaplap bolar (sur. 6.1).

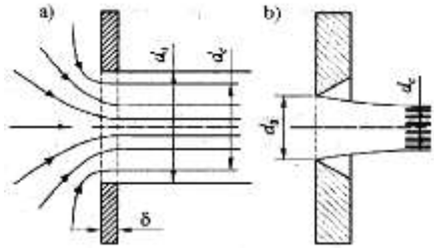


Sur. 6.1 Kiçi deşikler.

Ýuka diýip, ýylmanan erňekli diwara, onuň galyňlygy $\delta < 0{,}2d$ bolanda we akymyň akyp çykmaklygynyň şertlerine we formasyna täsir etmäninde aýdylýar. Beýle deşigiň üstünden akyp geçýan akym diňe deşigiň giriş erňekleriniň ýerli garşylyklaryny ýeňip geçýär, ol erňekleri bolsa ol aýlanyp geçýär we deşigiň özüniň içerki üstüne galtaşmaýan haldaky görnüşde akýar (6.2-nji surat).

Galyň diwar diýip, galyňlygy $3d$ ululykdan ýa-da diwardaky deşigiň beýleki iň uly çyzykly ölçeginiň üç essesinden az bolmadyk diwara aýdylýar.

Hemişelik *H* basyş astynda deşikden akyp çykanynda (açyk gapda hemişelik basyş goşmaça çeşmäniň hasabyna ondaky suwuklygyň üýtgewsiz derejesini goldamak arkaly üpjün edilýär; ýapyk gapda — suwuklygyň üstündäki gazyň basyşynyň hemişelik derejesini goldamak arkaly üpjün edilýär) akym durugyşan bolar. Suwuklygyň bölejikleri deşige garşy ähli taraplardan birigýän egriçyzykly traýektoriýalar boýunça hereket edýärler. Deşikden çykanlarynda gyraky elementar akymjyklar esasy akyma konoidal görnüşi berýärler, onuň netijesinde deşigiň golaýynda akymyň gysylmaklygy we üstüň dartylmak güýçleriniň täsiri astynda onuň formasynyň mundan buýanky deformasiýasy bolup geçýär. Meselem, inedördül deşikden akyp çykanynda akymyň kesigi deňuçlarly haçyň görnüşini alýar; üçburçly deňtaraply deşikden akyp çykanynda — üçuçly ýyldyzyň görnüşini alýar. Bu hadysa *inwersiýa* diýilýär. Akymyň iň köp gysylmaklygy rezerwuaryň diwaryndan takmynan $0{,}5d$ -e deň aralykda bolup geçýär.



6.2.-nji surat. Tegelek deşikden akyp çykmak:
a — ýuka diwarda; *b* — ýiti erňeklide

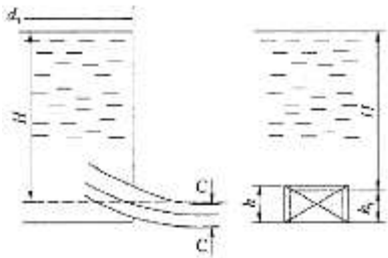
Deşigiň rezerwuaryň (gabyň) beýleki diwarlaryna görä ýagdaýyna baglylykda kämil we kämil däl, doly we doly däl gysylyşlary bolan deşikleri tapawutlandyrýarlar.

Gabyň beýleki diwarlaryndan (şol sanda düýpden hem) $l \geq 3d$ aralyga ýa-da üçeldilen ekwiwalent diametre daşlaşan deşik kämil we doly gysylyşly deşik bolar. Bu ýagdaýda gysylyş ähli taraplaýyn we iň uly bolar. Bu ýagdaýda gabyň diwarlary gysylmaklyga täsir etmeýärler.

Kämil däl gysylyşly deşik diwarlardan $l < 3d$ aralykda, ýagny diwarlaryň biriniň golaýynda ýerleşýär. Bu ýagdaýda diwaryň ýakynlygy öňki ýagdaýdakyda bolanyndan az güýçli gysylmaklygy ýüze çykarýar, ýagny akymyň gysylan kesiginiň meýdany kämil gysylmakdakydan uly bolar. Emma akymyň gysylmaklygy doly, ýagny ähli taraplaýyn bolar.

Doly däl we kämil däl gysylmaly deşik haçan-da ol gabyň diwarlarynyň birine galtaşýan ýagdaýynda bolar (sur. 6.3). Bu ýagdaýda gysylmak deşigiň ähli perimetri boýunça däl görnüşde bolup geçer.

Suratlarda belgilenilendirler: d_0 — desigiň diametri, d_c — gapdan akyp çykýan akymyň gysylan kesigininiň diametri, d_1 — gabyň (rezerwuaryň) diametri.



6.3-nji surat. Akymyň doly däl we kämil däl gysylmalary bolan deşikler.

Gysylan akymyň meýdanynyň deşigiň meýdanyna gatnaşygy

$$\varepsilon = \frac{\omega_{gys}}{\omega_0} = \left(\frac{d_c}{d_0}\right)^2 \qquad (6.1)$$

akymyň gysylmak koeffisiýenti diýlip atlandyrylýar (10.3 formula hem serediň). ε koeffisiýent gysylmaklygyň derejesiniň funksiýasydyr:

$$n = \frac{\omega_0}{\omega_1} = \left(\frac{d_0}{d_1}\right)^2. \qquad (6.2)$$

N.E.Žukowskiniň teoretiki formulasy boýunça

$$\varepsilon = \frac{\pi}{\pi + 2\dfrac{2\theta}{tg2\theta}} \tag{6.3}$$

bu ýerde

$$tg\left(1 + \frac{2}{\pi}\frac{2\theta}{tg2\theta}\right) = n \tag{6.4}$$

(6.3) we (6.4) formulalar tekiz yşdan akyp çykmak ýagdaýy üçin getirilip çykarylandyrlar. Emma $n < 0{,}6$ bolanda olar tegelek turbalar üçin tejribeden alnan maglumatlar bilen gowy gabatlaşýarlar (aratapawut 0,007-0,01 çäklerdedir), bu bolsa deşigiň görnüşiniň (formasynyň) gysylmak ε koeffisiýentiniň ululygyna gowşak täsiriniň bardygyny görkezýär.

ε ululygy N.E.Žukowskiniň formulalary boýunça kesgitlemeklik belli bir hasaplaýyş kynçylyklary bilen baglydyr. Şonuň üçin A.D.Altşul tarapyndan takmynan formula (10.34) teklip edildi:

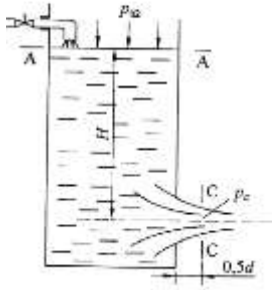
$$\varepsilon = 0{,}57 + \frac{0{,}43}{1{,}1 - n}$$

ol *n* ululygyň 0-dan 1-e çenli aralykdaky bahalarynyň çäklerinde tejribeden bolan maglumatlary gowy şöhlelendirýär.

Hususan hem, $n \to 0$ bolanda (uly ölçeglerdäki rezerwuardaky deşik) (6.3) formuladan gelip çykýar:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{\pi + 2} \cong 0{,}611,$$

(10.34) formula boýunça bolsa $\varepsilon \cong 0{,}609$. Tejribedäki maglumatlar boýunça $n \cong 0$ bolanda $\varepsilon = 0{,}604$.



6.4-nji surat. Rezerwuardan suwuklygyň akyp çykmaklygy.

Hemişelik basyşda, ýuka diwarlarly çäkli ölçeglerli rezerwuardan kiçi deşik arkaly atmosfera suwuklygyň akyp çykmak ýagdaýy üçin A—A we C—C kesikler üçin D.Bernulliniň deňlemesini düzeliň (sur. 6.4):

$$H + \frac{p_{oc}}{\rho g} + \frac{\alpha_{oc} V_{oc}^2}{2g} = \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + h_w, \qquad (6.5)$$

bu ýerde $H = z_{oc} - z_c$ — gidrostatiki basyş;

p_{oc} we V_{oc} — A–A üstdäki basyş we ony düşürmekligiň tizligi;

p_c we V_c — gysylan kesikdäki şolar ýaly parametrler;

$$h_w = \zeta_0 \frac{V_c^2}{2g} \quad — \qquad (6.6)$$

deşik arkaly akyp çykmakda basyşyň ýerli ýitgileri.

(6.6) aňlatmany (6.5) deňlige goýup we soňkyny gysylan kesikdaki tizlige görä çözüp, tapýarys

$$V_c = \sqrt{\frac{1}{\alpha_c + \zeta_0}} \sqrt{2g\left(H + \frac{p_{oc} - p_c}{\rho g}\right) + \alpha_{oc}^2 V_{oc}^2} \,. \qquad (6.7)$$

Bu deňligi V_c ululyga bölüp, alýarys:

$$1 = \sqrt{\frac{1}{\alpha_c + \zeta_0}} \sqrt{\frac{2g}{V_c^2}\left(H + \frac{p_{oc} - p_c}{\rho g}\right) + \alpha_{oc}^2 \frac{V_{oc}^2}{V_c^2}}$$

Aşakdakylary göz öňünde tutup

$$\frac{V_{oc}}{V_c} = \frac{\omega_{gys}}{\omega_{oc}} \quad \text{we} \quad \frac{\omega_{gys}}{\omega_{oc}} \frac{\omega_0}{\omega_0} = \frac{\omega_{gys}}{\omega_0} \frac{\omega_0}{\omega_{oc}} = \varepsilon n \,,$$

soňky deňligi şeýle görnüşde täzeden ýazalyň:

$$\sqrt{\alpha_c + \zeta_0} = \sqrt{\frac{2g}{V_c^2}\left(H + \frac{p_{oc} - p_c}{\rho g}\right) + \alpha_{oc}^2 \varepsilon^2 n^2} \,.$$

Bu deňligiň iki tarapyny hem kwadrata göterip we ony V_c görä çözüp, tapýarys:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \zeta_0 - (\alpha_{oc} \varepsilon n)^2}} \sqrt{2g\left(H + \frac{p_{oc} - p_c}{\rho g}\right)} \qquad (6.8)$$

ýa-da

$$V_c = \varphi \sqrt{2g\left(H + \frac{p_{oc} - p_c}{\rho g}\right)}; \qquad (6.9)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \zeta_0 - (\alpha_{oc} \varepsilon n)^2}}$$ — tizlik koeffisiýenti. (6.10)

Hususy ýagdaýlar

Ilki bilen, akymyň gysylan kesigindäki p_c basyşyň — p_0 atmosferanyňka deňdigini belläliň. Seredilýän ýagdaýlarda uly bolmadyk nätakyklyklara ýol bermän $\alpha_{oc} = \alpha_c = 1$ diýip hasaplap bolar.

Erkin üstli rezerwuar

Bu ýagdaýda $p_a = p_0$ — atmosfera basyşyna deňdir. Onda $p_a - p_c = 0$ we $H = const$ bolanda alarys:

$$V_c = \varphi \sqrt{2gH}, \qquad (6.11)$$

bu ýerde $\alpha_c = \alpha_{oc} = 1$ bolanda

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_0 - \varepsilon^2 n^2}}. \qquad (6.12)$$

Eger-de üstüň A meýdany deşigiň meýdanyndan has uly bolsa, onda $n \approx 0$ we

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_0}} \quad . \tag{6.13}$$

Ideal suwuklyk üçin $\zeta_0 = 0$ we $n = 0$ bolanda alýarys:

$$V_c = \sqrt{2gH} \quad . \tag{6.14}$$

bu Torriçelliniň erkin üstli uly rezerwuardan suwuklygyň akyp çykmagy üçin teoretiki formulasydyr.

Suwuklygyň sarp edilmekligi kesgitleme boýunça deň bolar:

$$Q = V_c \omega_c ,$$

ýa-da (6.1) we (6.11) deňlikleri hasaba almak bilen:

$$Q = \varepsilon \varphi \omega_0 \sqrt{2gH} \tag{6.15}$$

ýa-da

$$Q = \mu \omega_0 \sqrt{2gH} \tag{6.16}$$

bu ýerde

$$\mu = \varepsilon \varphi = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_0+\varepsilon^2 n^2}} \text{ —} \tag{6.17}$$

sarp etmek koeffisiýenti. $n = 0$ bolanda $\mu = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_0}}$.

Tegelek kiçi deşigiň ε, φ we μ koeffisiýentleriniň bahasy onuň erňekleriniň görnüşine, deşige suwuklygyň akyp gelmeginiň şertlerine we Reýnoldsyň sanyna baglydyr:

$$\mathrm{Re} = \frac{V_c d_0}{\nu} \cong \frac{d_0 \sqrt{2gH}}{\nu}$$

bu ýerde ν — kinematiki şepbeşiklik.

Beýleki deň şertlerde sarp etmek μ koeffisiýentiniň Re sana baglylygy, deşigiň ýiti erňekleri bolanynda, 7-nji tablisada getirilendir.

7-nji tablisa

$\mu = (\mathrm{Re})$ bahalar

Re	$1{,}5 \cdot 10^4$	$2{,}5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	10^5	$2{,}5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	10^6
μ	0,638	0,623	0,610	0,603	0,597	0,594	0,593

Bellik: $\mathrm{Re} > 10^5$ bolanynda Reýnoldsyň sanynyň akyp çykmaklygyň μ, ε we φ koeffisiýentlerine täsiri praktiki taýdan möhüm däldir we hasaplamalar üçin olaryň orta bahalaryny ulanyp bolar (suw üçin): $\varphi = 0{,}97$; $\varepsilon = 0{,}62$; $\mu = 0{,}60$. Özi hem $\zeta_0 = \frac{1}{\varphi^2} - 1 \cong 0{,}063$.

Suwuklygyň üstünde hemişelik basyşly ýapyk rezerwuar

Bu ýagdaýda gysylan kesikdäki tizlik (6.9) formula boýunça kesgitlenilýär we φ koeffisiýent (6.12) ýa-da (6.13) formulalar boýunça kesgitlenilýär. Eger-de gap $p_1 = const$ basyş astynda doly doldurylan bolsa, onda $H = 0$ bolanda

$$V_c = \varphi\sqrt{2g\,\frac{p_1 - p_0}{\rho g}}\,. \qquad (6.18)$$

Suwuklygyň sarp edilmekligi $Q = V_c\omega_{ct} = V_0\varepsilon\omega_0$ deňlige we (6.9) we (6.18) formulalara laýyklykda, $H \neq 0$ bolanda aşakdaky formulalar boýunça kesgitlenilýär:

$$Q = \varepsilon\varphi\omega_0 V_c = \mu\omega_0\sqrt{H + 2g\,\frac{(p_1 - p_2)}{\rho g}}\,, \qquad (6.19)$$

bu ýerde

$$\mu = \varepsilon\varphi = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \zeta_0 + \varepsilon^2 n^2}}\,, \qquad (6.20)$$

ýa-da $H \approx 0$ bolanda:

$$Q = \mu\omega_0\sqrt{2g\,\frac{p_1 - p_2}{\rho g}}\,, \qquad (6.21)$$

bu ýerde μ ululyk (6.20) formula boýunça kesgitlenilýär.

Deslapky hasaplamalar üçin uly Re sanlarda uly rezerwuarlar üçin $\mu = 0{,}6$ kabul edýärler.

Silindriki rezerwuar bilen okdaş düýpdäki deşigiň üsti bilen akyp çykmaklyk.

Heniz hem hemişelik basyşda ýuka diwardaky tegelek deşik arkaly akyp çykmaklyga seredýäris. Bu ýagdaýda tizlik (6.16) formula boýunça kesgitlenilýär, bu ýerde H — gidrostatiki basyşalaryň tapawudydyr, ol deňdir

$$H=\left(z_1+\frac{p_1}{\rho g}\right)-\left(z_2+\frac{p_2}{\rho g}\right)=z_1-z_2+\frac{p_1-p_2}{\rho g}=h-\frac{p_1-p_2}{\rho g}. \qquad (6.22)$$

l ululygy H ululyk bilen deňeşdireniňde hasaba almaýarlar.

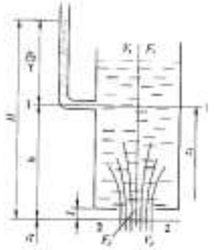
(6.12) we (6.17) formulalarda akymyň gysylmak ε koeffisiýentini uly Re sanlarda ($\mathrm{Re}>10^5$) şu empiriki formula boýunça kesgitläp bolar:

$$\varepsilon=0{,}62+0{,}38\left(\frac{\omega_0}{\omega_1}\right)^2, \qquad (6.23)$$

bu ýerde ω_0 — desigiň meýdany, hem-de kabul edýärler $\zeta_0=0{,}06;$ ω_1 — rezerwuaryň kesiginiň meýdany.

Çäk ýagdaýda — $n=\dfrac{\omega_0}{\omega_1}=0$ bolanda φ ululygy (6.13) formula boýunça kesgitleýärler we $\mu=\dfrac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_0}}=\varphi\varepsilon$.

Akyp çykmaklygyň tizligini we sarp etmekligi (6.18) we (6.19) formulalar boýunça tapýarlar.



6.5-nji surat. Düýpdäki deşik boýunça akyp çykmak.

Dereje astyna akyp çykmak

Suwuklygyň bir rezerwuardan, başdakydaky ýaly şol bir suwuklyk bilen doldurylan beýlekisine ýuka diwardaky deşik arkaly akyp çykmaklygy, dereje astyna ýa-da suw basan deşik arkaly akyp çykmaklyk ýagdaýy bolup durýandyr (sur. 6.6). A rezerwuardan B rezerwuara akyp çykýan akym hem gysylmaklyga sezewardyr. Gysylan kesikdäki ω_2 basyş, şol sanda ähli B rezerwuardaky hem, gidrostatiki kanun boýunça paýlanylýar.

D.Bernulliniň I-I kesik üçin we C-C gysylan kesik üçin deşigiň okundan geçýän O-O tekizlige görä deňlemesini düzeliň:

$$H_1 + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = 0 + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha_0 V_c^2}{2g} + \zeta_0 \frac{V_c^2}{2g}, \qquad (6.24)$$

bu ýerde $p_c = p_0 + \rho g H_2$. Erkin üstde $V_0 = 0$.

Şuny göz öňünde tutup, (6.24) deňlemäni şeýle görnüşde täzeden ýazmak mümkin:

$$H_1 = H_2 + (\alpha_0 + \zeta_0) + \frac{V_c^2}{2g}, \qquad (6.25)$$

bu ýerden

$$V_c = \varphi\sqrt{2g\left(H_1 - H_2\right)} = \varphi\sqrt{2gH_0}$$

bu ýerde

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_0 + \zeta_0}}. \tag{6.26}$$

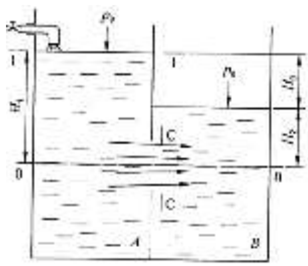
Beýle ýagdaýda sarp etmeklik deň bolar

$$Q = \mu\omega_0\sqrt{2gH}, \tag{6.27}$$

bu ýerde

$$\varphi = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\alpha_0 + \zeta_0}}. \tag{6.28}$$

Düzgün bolşy ýaly, φ we μ ululyklaryň bahalaryny suwa basdyrylmadyk deşik arkaly akyp çykmaklygy hasaplamakdaky ýalylara deň kabul edýärler.



6.6-njy surat. Dereje astyna akyp çykmak.

6.2. ÝUKA DIWARDAKY ULY DEŞIK ARKALY AKYP ÇYKMAKLYK

Wertikal diwardaky tegelek deşik

Rezerwuardaky suwuklygyň erkin üsti astyndaky deşigiň çümdürilmekliginiň çuňlugyny *H* arkaly belläliň, özi hem deşigiň diametri *d* bolsun.

Deşigiň meýdanyny giňligi *2x* we beýikligi *dh* bolan elementar gorizontal zolaklara böleliň (sur. 6.7). Olaryň meýdany deňdir: $d\omega = 2xdh$. Beýle zolak arkaly *h* çuňlukda elementar sarp etmekligi (6.16) formula meňzeşlikde şeýle aňladyp bolar:

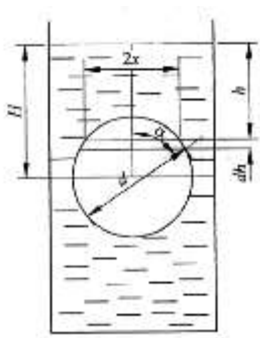
$$dQ = \mu d\omega\sqrt{2gh} = 2\mu x\sqrt{2gh}dh. \qquad (6.29)$$

Surata laýyklykda tapýarys

$$x = \frac{d}{2}\sin\alpha = r\sin\alpha; \qquad (6.30)$$

$$h = H - r\cos\alpha; \quad dh = r\sin\alpha d\alpha \qquad (6.31)$$

bu ýerde $r = 0{,}5d$.



6.7-nji surat. Wertikal diwardaky uly deşik.

(6.30) we (6.31) deňlikleri (6.29) deňlige goýup, alýarys

$$dQ = 2\mu r^2 \sqrt{2g(H - r\cos\alpha)} \cdot \sin^2\alpha \, d\alpha$$

Bu deňligi 0-dan Q –a çenli we 0-dan π -e çenli çäklerde integrirläp, ähli deşik üstünden suwuklygyň sarp edilişini hasaplamak üçin aňlatmany alýarys:

$$Q = \int_0^{\pi} 2\mu r^2 \sqrt{2gH} \sqrt{1 - \frac{r}{H}\cos\alpha} \cdot \sin^2\alpha \, d\alpha =$$

$$= 2\mu r^2 \sqrt{2gH} \int_0^{\pi} \sin^2\alpha \sqrt{1 - \frac{r}{H}\cos\alpha} \, d\alpha \, .$$

Soňky deňligiň sag bölegindäki integral diňe takmynan tapylyp bilner. Takmynan çözmekligiň netijesinde alýarys:

$$Q = \mu\left[1 - \frac{1}{3\pi}\left(\frac{r}{H}\right)^2\right]\pi r^2 \sqrt{2gH}$$

ýa-da, $\dfrac{r}{H}$ ululygyň kiçi bahalarynda, kwadrat ýaýlardaky ikinji agzany hasaba alman, alýarys: $Q = \mu\pi r^2 \sqrt{2gH} = \mu\omega_0 \sqrt{2gH}$, (6.32)

bu ýerde $\omega_0 = \pi r^2$ - akyp çykmaklygyň deşiginiň meýdany.

(6.32) formulanyň tejribelikde, has takyk formula alnan kwadrat görnüşliden başga islendik görnüşli uly deşiklerden akyp çykmakda sarp etmekligi kesgitlemek üçin ulanylýandygyny bellemek gerekdir.

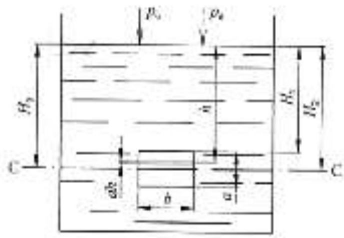
Akymyň orta tizligi belli baglanyşykdan kesgitlenilýär:

deşikde — $V_0 = \dfrac{Q}{\omega_0}$;

daralan kesikde — $V_c = \dfrac{Q}{\omega_c}$.

Wertikal diwardaky göniburçly deşik

Goý, suwuklygyň akyp çykmaklygy atmosfera bolup geçýär ýa-da hemişelik basyşda uly deşigiň üsti bilen bolup geçýär, bu deşigiň beýikligi deşigiň agyrlyk merkeziniň çümdürilmek H_0 çuňlugy bilen ölçegdeşdir (sur. 6.8). Deşigiň meýdany $\omega_0 = ab$, bu ýerde b — onuň giňligi.



6.8-nji surat.. Göniburçly deşik arkaly akyp çykmaklyk.

Oňdäki ýagdaýda bolşy ýaly, deşigiň meýdanyny giňligi *b* we beýikligi *dH* bolan elementar $d\omega$ meýdanjyklara böleliň. Şu hilli bir meýdanjygyň üsti bilen *h* çuňlukda elementar sarp etmekligi öňki ýaly formula bilen aňladalyň:

$$dQ = \mu_m d\omega\sqrt{2gh} = \mu_m b\sqrt{2gh}\, dh, \qquad (6.33)$$

bu ýerde μ_m — kiçi deşigiň sarp etmek koeffisiýenti.

Doly Q sarp etmekligi deşigiň ähli meýdany boýunça elementar sarp etmeklikleri jemlemek bilen taparys, ýagny soňky deňligi 0-dan *Q*-a we H_1-den H_2-ä çenli integrirlemek arkaly:

$$\int dQ = \mu_m b \int_{H_1}^{H_2} \sqrt{2gh}\, dh = \mu_m b \sqrt{2g}\, \frac{2}{3}\left(H_2^{\frac{3}{2}} - H_1^{\frac{3}{2}} \right). \qquad (6.34)$$

$\mu_m = const$ bolanda (6.33) formula takykdyr. Emma ony praktiki maksatlar üçin ýönekeýleşdirip bolar. Aşakdaky (sur. 6.8) ýaly bolýandygy üçin

$$H_1 = H_0 - \frac{a}{2} \text{ we } H_2 = H_0 + \frac{a}{2}$$

ýazyp bolar:

$$Q = \frac{2}{3}\mu_m b \sqrt{2g}\left[\left(\mathrm{H}_0 + \frac{a}{2} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\mathrm{H}_0 - \frac{a}{2} \right)^{\frac{3}{2}} \right].$$

Tegelek ýaýlardaky ikiagzalary Nýutonyň binomy görnüşinde aňladyp, dargatmaklygyň birinji agzalary bilen çäklenip, özgertmelerden soňra we $\frac{2}{3}\mu_m = \mu_b$ diýip belläp, alýarys:

$$Q = \mu_b ba\sqrt{2gH_0}\left[1 - \frac{1}{96}\left(\frac{a}{H_0} \right)^2 - \frac{1}{2048}\left(\frac{a}{H_0} \right)^4 \right].$$

Adatça $\frac{a}{H}$ gatnaşyk 0,5-den uly däldir we özi hem kwadrat ýaýlardaky aňlatmanyň ikinji we üçünji goşulyjylarynyň jemi

0,002-den geçmeýär. Şol sebäpli praktiki maksatlar üçin ýeterlikli takyklyk bilen kabul edip bolar

$$Q \cong \mu_b ab\sqrt{2gH_0} = \mu_b \omega_0 \sqrt{2gH_0}\,, \quad (6.35)$$

ýagny bu (6.32) deňlige meňzeşdir.

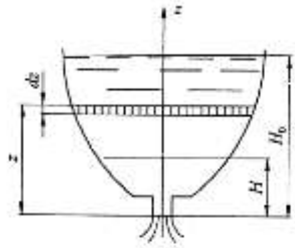
Sarp etmekligiň μ_b koeffisiýentiniň ululygy tejribeleriň maglumatlaryna görä uly deşikler üçin, deşigiň görnüşine baglylykda 0,65-0,90 çäklerde ýerleşendir. Göniburçly deşik üçin:

$$\mu_b = \mu_m\left(1 - \frac{1}{96}\frac{a^2}{H_0^2}\right). \quad (6.36)$$

Ýiti erňekli uly deşikler üçin turbulent akyp çykmaklykda $\mu_b = 0{,}60 \div 0{,}65$, özi hem bu ululyk $\frac{H}{a}$ näçe uly boldugy-ça şonça-da uludyr.

6.3. ÜÝTEÝÄN BASYŞDA SUWUKLYGYŇ AKYP ÇYKMAKLYGY

Üýtgeýän basyşda suwuklygyň akyp çykmaklygyna rezerwuarlar boşadylanda (ýa-da doldurylanda) aýdyň halda syn edip bolar (6.9-njy surat).



6.9-njy surat. Gapdan akyp çykmaklyk

Suwuklygyň z derejesiniň dz beýiklige peselmeklik prosesiniň differensial deňlemesi akymyň üzülmezlik deňlemesiniň esasynda şeýle görnüşde ýazylar:

$$\Omega(z)V_z = \Omega(z)\frac{dz}{dt} = Q_z$$

ýa-da

$$\Omega(z)dz = Q_z dz\,, \tag{6.37}$$

bu ýerde $\Omega(z)$ — erkin görnüşli rezerwuarda, akyp çykmaklygyň deşiginiň erňeginden z beýiklikde suwuklygyň erkin üstüniň meýdany;
dz — dt wagtda rezerwuarda suwuklygyň derejesiniň peselmekligi.

Q_z — dt wagtda z basyşda akyp çykmaklygyň deşigi arkaly suwuklygyň sarp edilmekligi.

Derejäňiň peselmek tizligini we inersiýa güýçlerini hasaba alman, hem-de dt wagt dowamynda akyp çykmaklyk prosesini durugyşan hasaplap, D.Bernulliniň deňlemesini ýazalyň:

$$z + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g} + \zeta \frac{V^2}{2g},$$

bu ýerde p_0 — üstdäki we rezerwuardan cykyşdaky atmosfera basyşy.

Şeýlelik-de,

$$V = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta}} \sqrt{2gz} = \varphi \sqrt{2gz}$$

we onda

$$Q_z = \varepsilon \omega_0 V = \varepsilon \varphi \omega_0 \sqrt{2gz}$$

ýa-da

$$Q_z = \mu \omega_0 \sqrt{2gz}, \qquad (6.38)$$

bu ýerde ω_0 — çykyş deşiginiň meýdany, ε — akymyň daralmak koeffisiýenti, $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta}} \cong \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}}$ — tizlik koeffisiýenti, $\mu = \varepsilon \varphi$ — sarp etmekligiň koeffisiýenti.

(6.38) deňligi (6.37) deňlige goýup, derejäniň *dz* ululyga peselmekliginiň *dt* wagtyny kesgitlemek üçin aňlatmany tapýarys we alýarys

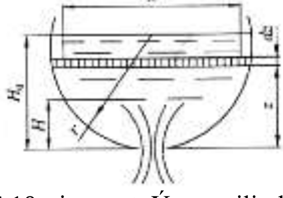
$$dz = -\frac{\Omega(z)dz}{\mu\omega_0\sqrt{2gz}}.$$

Adatça, az şepbeşikli suwuklyklar akyp çykanlarynda (suw, benzin we ş.m.) çykyşda akym turbulent bolar we sarp etmekligiň koeffisiýenti praktiki taýdan hemişelik bolar. Gabyň bölekleýin boşamaklygynyň wagtyny (derejäniň H_0-dan H-a çenli peselmekliginiň) soňky deňlemäni integrirläp tapýarys:

$$t = -\frac{1}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\int_{H_0}^{H}\frac{\Omega(z)dz}{\sqrt{z}} = \frac{1}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\int_{H}^{H_0}\frac{\Omega(z)dz}{\sqrt{z}}. \quad (6.39)$$

Eger-de $\Omega(z)$ meýdany *z* basyşa bagly funksiýa hökmünde analitiki aňladyp bolsa, onda (6.39) deňligiň sag tarapyndaky integraly hasaplap bolar. Käbir hususy ýagdaýlara seredeliň.

Gorizontal ýarymsilindr görnüşindäki rezerwuar



6.10-njy surat. Ýarymsilindr

Radiusy $r = H_0$ bolan silindriki kersenden akyp çykmaklyga seredeliň (sur. 6.10). Deşigiň erňeginden *z* beýiklikde erkin üstüň meýdany deňdir

$$\Omega(z) = xl,$$

bu ýerde $x = 2\sqrt{H_0^2 - (H_0 - z)^2} = 2\sqrt{2H_0 z - z^2}$.

Diýmek,

$$\Omega(z) = 2l\sqrt{2H_0 z - z^2} .$$

$\Omega(z)$ ululygyň bu bahasyny (6.39) deňlige goýup, alýarys:

$$t = \frac{2l}{\mu\omega_0\sqrt{2g}} \int_H^{H_0} \sqrt{2H_0 - z}dz$$

$t = 2H - z$ ornuna goýmaklygy ulanyp, tapýarys

$$t = \frac{4}{3}\frac{l}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\left[(2H_0 - H)^{\frac{3}{2}} - H_0^{\frac{3}{2}}\right].$$

Doly boşalmakda $H = 0$. Onda doly boşamaklygyň *T* wagty deň bolar:

$$T = \frac{4}{3}\frac{l}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\left[(2H_0)^{\frac{3}{2}} - H_0^{\frac{3}{2}}\right]$$

ýa-da

$$T = \frac{4}{3}\frac{1{,}83lH_0^{\frac{3}{2}}}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}$$

Sanawjyny we maýdalawjyny $\frac{\pi}{2}H_0^{\frac{1}{2}}$ ululyga köpeldeliň, Onda alarys

$$T = \frac{4}{3}\frac{\frac{1,83lH_0^2\pi}{2}}{\frac{\pi}{2}\mu\omega_0\sqrt{2gH_0}}$$

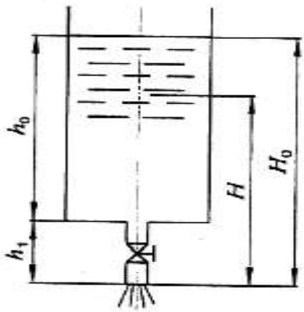
bu ýerde $\frac{\pi lH_0^2}{2} = \frac{\pi lR^2}{2} = W_0$ -— rezerwuaryň başlangyç maksimal göwrümi (sebäbi $H_0 = R$);

$\sqrt{2gH_0}\cdot\mu\omega_0 = Q_0$ — başlangyç sarp etmeklik (başlangyç H_0 basyşdaky sarp etmeklik).

Bu bahalary (6.42) deňlige goýup, koeffisiýentleri hasaplanymyzdan soňra alýarys

$$T = 1,55\frac{W_0}{Q_0}.$$

Prizmatiki rezerwuar



6.11-nji surat. Prizmatiki rezerwuar.

Prizmatiki rezerwuarda (şol sanda silindrikide hem) kesigiň meýdany $\Omega(z)=\Omega=const$ (sur. 6.11). Bu ýagdaýda (6.39) deňlikden gelip çykýar:

$$t=\frac{2\Omega}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\left(\sqrt{H_0}-\sqrt{H}\right). \qquad (6.40)$$

Doly boşamaklygyň wagty deňdir:

$$T=\frac{2\Omega}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\left(\sqrt{h_0+h_1}-\sqrt{h_1}\right), \qquad (6.41)$$

bu ýerde ω_0 — çykyş deşiginiň meýdany.

Eger-de akyp çykmaklyk düýpdäki deşik ýa-da gysga geýdirilýän bölek arkaly bolup geçýän bolsa ($h_1 \approx 0$), onda doly boşamaklygyň wagty deň bolar ($h_0 \cong H_0$ bolýandygyny hasaba almak bilen).

$$T = \frac{2\Omega\sqrt{H_0}}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}.$$

Sanawjyny we maýdalawjyny $H_0^{\frac{1}{2}}$ köpeldip, alýarys:

$$T = \frac{2\Omega H_0}{\mu\omega_0\sqrt{2gH_0}} \cong \frac{2W_0}{Q_0}, \qquad (6.42)$$

bu ýerde $W_0 = \Omega H_0$ — suwuklygyň rezerwuardaky başlangyç göwrümi.

$Q_0 = \mu\omega_0\sqrt{2gH_0}$ — başlangyç sarp etmeklik.

(6.40) deňlemäni özgerdip, ýazyp bileris:

$$t = 2\Omega\left(\frac{\sqrt{H_0}}{\mu\omega_0\sqrt{2g}} - \frac{\sqrt{H}}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\right) = 2\Omega\left(\frac{\sqrt{H_0}\sqrt{H_0}}{Q_0} - \frac{\sqrt{H}\sqrt{H}}{Q}\right)$$

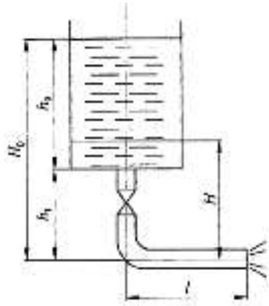
ýa-da

$$t = \frac{2\Omega(H_0 - H)}{Q_0 + Q} = \frac{W_0}{V_{or.}}, \qquad (6.43)$$

bu ýerde $W_0 = \Omega(H_0 - H)$ — rezerwuardan akyp çykýan suwuklygyň göwrümi;

$$Q_{or.} = \frac{Q_0 + Q}{2}$$ — t wagtda orta sarp etmeklik.

Prizmatiki rezerwuarda sarp etmekligiň wagta baglylygy çyzyklydyr, şonuň üçin akyp çykmaklygyň wagtyny orta arifmetiki sarp etmeklik boýunça hasaplamaklyk kanunydyr.



6.12-nji surat. Turba arkaly akyp çykmaklyk

Sarp etmekligiň μ koeffisiýenti çykyş deşiginiň görnüşine baglylykda alynýar: düýpdäki deşikden akyp çykmaklykda — ýuka diwarlarly deşik üçin ýaly. Az şepbeşikli suwuklyklar üçin: $\varphi = 0{,}97; \quad \mu = 0{,}62$.

Eger-de akyp çykmaklyk diametri *d* we uzynlygy *l* bolan turba arkaly bolup geçýän bolsa (sur. 6.12), onda sarp etmekligiň koeffsiýenti şu formula boýunça kesgitlenilýär:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum\zeta + \lambda\frac{l}{d}}}, \qquad (6.44)$$

— bu ýerde $\sum\zeta$ — ýerli garşylyklaryň jemleýin koeffisiýenti,

λ — gidrawiki sürtülmekligiň koeffisiýenti.

Örän şepbeşik suwuklyklar akyp çykanlarynda akymyň laminar režimine syn edilýär we şonda sarp etmeklik (eger-de turbanyň uzynlygy boýunça sürtülmeklige ýitgiler bilen deňeşdireniňde ýerli ýitgileri hasaba almasaň), akyp çykmaklyk prosesini *dt* wagt üçin durugyşan diýip seretsek, deň bolar:

$$Q = kz, \tag{6.45}$$

bu ýerde

$$k = \frac{\pi g d^4}{128 \nu l} \tag{6.46}$$

((8.29) formula, ol ýerde $z = h_w$).

Onda (6.39) deňlige laýyklykda:

$$t = \int_H^{H_0} \frac{\Omega(z) dz}{kz}.$$

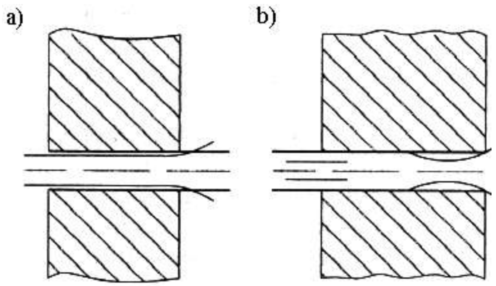
Prizmatiki gap üçin $[\Omega(z) = const]$ alarys

$$t = \frac{\Omega}{k} \ln \frac{H_0}{H}, \tag{6.47}$$

bu ýerde $H \le H_0$ (sur. 6.12).

6.4. GEÝDIRILÝÄN BÖLEKLER ARKALY AKYP ÇYKMAKLYK

Diwaryň galyňlygy deşigiň diametrinden $\delta > 0{,}2$ bolanda akyp çykmaklygyň häsiýeti düýpli üýtgeýär. Bu ýagdaýda akyma deşigiň üsti täsir edýär. Suwuklygyň akymy deşige girende onuň erňekleri bilen özara täsir arkaly başda gysylýar. Deşigiň üsti we akymyň daralan böleginiň arasynda yş emele gelýär, ol suwuklygyň bölejikleriniň peselen basyşly girdaply akymly zonasy bolup durýandyr. Emele gelen girdaplar akymyň ondan soňraky giňelmekligine sebäp bolýarlar, özi hem akym deşigi doldurýar we ondan, aýtmak kabul edilişi ýaly, doly kesik bilen çykýar, ýagny deşigiň diwaryndan ondan çykmagyň öň ýanynda üzülmeýän ýagdaýda çykýar. Şonuň üçin akyp çykmaklygyň şeýle häsiýetini üzülmesiz režim diýip atlandyrýarlar (sur. 6.13a). Emma gysylmaklygyň derejesine we deşigiň uzynlygyna (diwaryň galyňlygyna) baglylykda şeýle bolup biler, ýagny akym daralmakdan soňraky giňelende deşigi doldurmaga ýetişmän hem biler we ondan daralan görnüşde çykyp biler. Onda akymyň we deşigiň üstüniň arasyndaky yş daşarky gurşaw tarapyndan doldurylar (atmosfera akyp çykmakdaky ýala meňzeşlikde howa bilen).



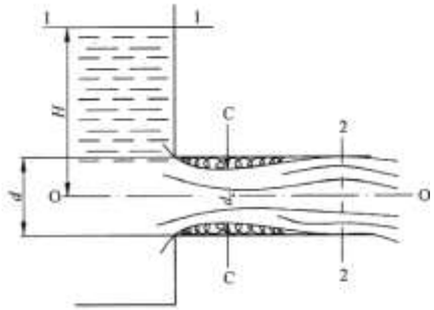
6.13-nji surat. Galyň diwardaky deşik arkaly akyp çykmak.

Diýmek, yşda wakuum bolmaz. Kabul edilen aýdylyşdaky ýaly wakuumyň bökdelmekligi bolup geçýär. Akym deşikden, onuň diwaryna galtaşman çykýar. Akyp çykmaklygyň bu häsiýetini akymyň üzülmekligi bolan režim diýip atlandyrýarlar. Bu ýagdaýda galyň diwardaky deşikden akyp çykmaklyk ýuka diwardaky deşikden akyp çykmaklyk ýaly bolup geçýär (sur. 6.13b).

Eger-de akyp çykmaklyk üzülmesiz režim boýunça bolup geçýän bolsa, onda deşigiň käbir optimal uzynlygynda (diwaryň galyňlygynda) sarp etmekligiň μ koeffisiýenti ymykly artýar, emma akymyň akyşyna garşylygyň artmaklygy sebäpli tizligiň koeffisiýenti φ birneme peselýär. Başgaça aýdanyňda, galyň diwardaky deşigiň käbir optimal l uzynlygynda akyp çykmaklyk netijeli bolar, ýagny sekuntlaýyn sarp etmeklik ýuka diwardaky şol bir d diametrli deşikden akyp çykanyndakydan uly bolar. Tejribeler arkaly desigiň optimal uzynlygynyň $l \geq (2 \div 3)d$ çäklerde bolýandygy kesgitlenilendir.

Emma rezerwuarlaryň diwarlarynyň galyňlygyny olaryň berklik şertini üpjün etmek boýunça talap edilýän ululykdan ýokara artdyrmaklygyň ykdysady taýdan bähbitli däldigi aýdyňdyr. Şonuň üçin ýuka diwarlardaky deşikleriň uzynlygyny “ösdürýärler”, ýagny geýdirilýän bölekleriň kömegi bilen emeli usulda artdyrýarlar, geýdirilýän bölekler turbalaryň gysga bölekleri hökmünde bolup, olar rezerwuarlaryň diwaryna pugta berkidliýär, özi hem geýdirilýän bölegiň içerki diametri rezerwuaryň diwaryndaky deşigiň diametrine deň bolmalydyr. Öz görnüşi boýunça geýdirilän bölekler bolup bilerler: silindriki — daşarky we içerki, koniki — ýygnalýan (konfuzorlar) we giňelýän (diffuzorlar) we konoidal, olaryň içerki üsti geýdirilýän bölege girýän akymy gysmaklygyň birsydyrgyn egrisi boýunça çyzylandyr. Dürli geýdirilýän bölekler arkaly suwuklygyň akyp çykmaklygynyň şertlerine seredelň.

Daşarky silindriki geýdirilýän bölek (sur. 6.14). Goý, geýdirilýän bölek arkaly akyp çykmaklyk üzülmesiz režim boýunça bolup geçsin, ýagny akym geýdirilýän bölekden doly kesik arkaly akyp çykýar, geýdirilýän bölekde bolsa wakuum bolan girdaply zona emele gelýär. Gysylan akymyň iň kiçi diametri — d_c; rezerwuaryň diwarynda we geýdirilýän bölekde deşigiň diametri — *d*.



6.14-nji surat. Silindriki geýdirilýän bölekden akyp çykmak.

1—1 (rezerwuardaky suwuklygyň erkin üsti) we 2—2 (geýdirilýän bölegiň çykyş kesigi) kesikler üçin D.Bernulliniň deňlemesini düzeliň:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_m . \qquad (6.48)$$

Bu deňlemede $z_1 - z_2 = H$ — geometriki basyş, $p_1 = p_2 = p_0$ — atmosfera basyşy. Ondan başga-da, erkin üstüň aşaklanmaklyk tizligini $V_1 = 0$ kabul edip bolar, hem-de $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ alyp bolar. Onda (6.48) deňligi şeýle ýazyp bolar:

$$H = \frac{V_2^2 + h_m}{2g}. \qquad (6.49)$$

Basyşyň ýerli ýitgileri h_m suwuklygyň rezerwuardan deşige girenindäki ýitgilerinden, akymyň gysylan kesigindäki V_{gys} tizlige gatnaşdyrylan görnüşindäkilerden

$$h_{gir.} = \zeta \frac{V_{gys.}^2}{2g}$$

hem-de daralmakldan soňraky duýdansyz giňelmeklige ýitgilerden (sebäbi $\alpha > 60^0$)

$$h_{dg} = \frac{\left(V_{gys.} - V_2\right)^2}{2g}.$$

jemlenýärler.

Gysga turbadaky (geýdirilýän bölekdäki) sürtülmeklige bolan ýitgileri hasaba almasaň hem bolar. Şeýlelik-de, alýarys:

$$h_m = h_{gir.} + h_{dg} = \zeta \frac{V_{gys.}^2}{2g} + \frac{\left(V_{gys.} - V_2\right)^2}{2g}.$$

Üzülmesizlik deňlemesinden gelip çykýar:

$$V_{gys.} = V_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{V_2}{\varepsilon},$$

bu ýerde ε — akymyň daralmak koeffisiýenti. Onda h_m üçin aňlatmany şeýle ýazyp bolar:

$$h_m = \left[\frac{\zeta}{\varepsilon^2} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2\right]\frac{V_2^2}{2g} = \zeta_n \frac{V_2^2}{2g}. \qquad (6.50)$$

(6.50) aňlatmany (6.49) aňlatma goýup, geýdirilýän bölekden akyp çykmaklygyň $V_2 = V$ tizliginiň bahasyny tapýarys:

$$V = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_n}}\sqrt{2gH} = \varphi_n \sqrt{2gH}, \qquad (6.51)$$

bu ýerde

$$\zeta_n = \frac{\zeta}{\varepsilon^2} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 \text{ —} \qquad (6.52)$$

geýdirilýän bölegiň gidrawliki garşylygynyň koeffisiýenti;

φ_n — onuň tizlik koeffisiýenti:

$$\varphi_n = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_n}}. \qquad (6.53)$$

Geýdirilýän bölegiň sarp etmekliginiň koeffisiýentiniň kesgitlemesi boýunça (formula 6.17) — $\mu_n = \varepsilon_n \varphi_n$. Emma geýdirilýän bölegiň çykyş kesigine gatnaşdyrylan daralmak koeffisiýenti $\varepsilon_n = 1$. Şonuň üçin $\mu_n = \varphi_n$ we sarp etmeklik aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$Q = V\omega_2 = \varphi_n \omega_2 \sqrt{2gH} = \mu_n \omega_2 \sqrt{2gH}\ . \qquad (6.54)$$

Sarp etmekligiň we tizligiň koeffisiýentlerini uly rezerwuardan ($n = 0$) uly Re sanlarda ($\zeta = 0$) ýuka diwardaky deşikden we geýdirilýän bölekden akyp çykylýan ýagdaýlar üçin deňeşdireliň. Bu ýagdaýda (6.3 formula) daralmak koeffisiýenti deň bolar:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{\pi + 2} \cong 0{,}611$$

we deşik üçin 6.20 formula boýunça alýarys $\mu_0 = \varepsilon = 0{,}611$, 6.4 formula boýunça bolsa $\varphi_0 = 1$.

Geýdirilýän bölek üçin ε ululygyň görkezilen bahasynda 6.52 formula boýunça tapýarys

$$\zeta_n = \frac{4}{\pi^2} = 0{,}406\,,$$

onda bolsa (6.53) formula laýyklykda

$$\varphi_n = \mu_n = \frac{\pi}{\sqrt{\pi^2 + 4}} \cong 0{,}845\,. \qquad (6.55)$$

Bu ululyklaryň gatnaşyklaryny düzeliň:

$$\frac{\mu_n}{\mu_0} = \frac{0{,}845}{0{,}611} = 1{,}38;$$

$$\frac{\varphi_n}{\varphi_0} = \frac{0{,}845}{1} = 0{,}845.$$

Şeýlelik-de, görkezilen şertlerde ($n = 0$ we uly Re sanda) geýdirilýän bölek, akyp çykmaklygyň tizligini 15% diýen ýaly azaldýan hem bolsa, sarp etmekligi 35%-den hem köp artdyrýar.

Daşarky silindriki geýdirilýän bölekden akyp çykmaklygyň netijeliligi gidrostatiki basyşyň *H* ululygyna we geýdirilýän bölegiň l uzynlygyna baglydyr. *H* basyşyň ýolbererlik ululygy wakuumyň mümkin bolup biljek “çuňlugyna” ($h_{wak.}$) baglydyr. *H* bilen $h_{wak.}$ arasyndaky baglanyşygy kesgitläliň.

Başda wakuumyň döremek şertlerini belläliň. Üzülmezlik deňlemesinden (sur. 6.14) we (6.3) deňlemä laýyklykda gelip çykýar

$$\frac{V_0}{V_2} = \frac{\omega_0}{\omega_c} = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{\pi + 2}{\pi} = 1{,}64,$$

ýagny C-C gysylan kesikde akymyň tizligi geýdirilýän bölegiň çykyş kesigindäki V_2 tizlikden 64% uly bolar. Diýmek, geýdirilýän bölegiň içindäki p_c basyş geýdirilýän bölegiň kesigindäki p_a atmosfera basyşyndan az bolar. Emma $(p_a - p_c)$ tapawudy wakuum — $p_{wak.}$ diýip atlandyrmak kabul edilendir.

D.Bernulliniň deňlemesini C—C we 2—2 utgaşmalar üçin gorizontal 0—0 tekizlige görä düzeliň ($\alpha_i = 0$ diýip kabul edip):

$$\frac{p_c}{\rho g} + \frac{V_c^2}{2g} = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{(V_c - V_2)^2}{2g},$$

bu yerde sag tarapdaky soňky goşulyjy akymyň duýdansyz giňelmekligine basyşyň ýitgisini aňladýar.

Bu deňlemeden tapýarys:

$$\frac{p_a - p_c}{\rho g} = \frac{p_{wak.}}{\rho g} = \frac{2V_c V_2 - 2V_2^2}{2g} = 2\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{V_c}{V_2} - 1\right) = 2\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)$$

$\varepsilon_2 = \dfrac{\pi}{\pi + 2}$ goýup, alýarys

$$\frac{p_{wak.}}{\rho g} = 2\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{\pi + 2}{\pi} - 1\right) = \frac{4}{\pi}\frac{V_2^2}{2g}$$

Emma (6.59) laýyklykda

$$\frac{V_2^2}{2g} = \varphi_n^2 H$$

Diýmek, (6.55) hasaba almak bilen

$$\frac{p_{wak.}}{\rho g} = \varphi_n^2 H = \frac{\pi^2}{\pi^2 + 4} H\,, \tag{6.56}$$

Aşakdaky belgilemäni girizip

$$h_{wak.} = \frac{p_{wak.}}{\rho g}\,,$$

alýarys

$$h_{wak.} = \frac{\pi^2}{\pi^2 + 4} H \cong 0{,}711H\,. \tag{6.57}$$

H basyş islendik baha eýe bolup biler, emma onuň ululygyň çägi bardyr, ondan ýokarda geýdirilýän bölekdäki wakuum “bökdelýär”, ýagny gysylan akymyň we geýdirilýän bölegiň içerki üstüniň arasyndaky yş daşarky howa bilen birleşýär. Bu çäk wakuumyň maksimal mümkin bolan bahasy bilen baglanyşyklydyr, ol $(h_{wak.})_{\max} = 10{,}33$ m suw süt. Uly Re sanlar üçin (6.57) laýyklykda basyşyň çäk bahasyny tapalyň:

$$H_{\text{çäк}} = \frac{\pi^2 + 4}{\pi^2} 10{,}33 \cong 13{,}6 \text{ m suw. süt.}$$

Şeýlelik-de, $H_{\text{çäк}}$ ululykdan uly basyşda geýdirilýän bölekde wakuumyň bökdelmekligi bolar, hem-de ol ýuka diwardaky deşik ýaly işlär. Tejribeçilikde $(h_{wak.})_{\max} = 0{,}75H$ kabul edýärler, özi hem ol $5{,}5 \div 6$ m suw. süt. deňdir. Onda, geýdirilýän bölegiň netijeli işini üpjün edýän çäk ýolbererlik basyş bolar

$$H_{\text{çäк}} = \frac{5{,}5 \div 6}{0{,}711} = 7{,}7 \div 8{,}4 \text{ m.} \qquad (6.58)$$

Ähli aýdylanlar geýdirilýän bölegiň uzynlygy $l > (2 \div 3)d$ bolanda ýerine ýetýändir. *l* ululygyň kiçi bahalarynda hem geýdirilýän bölekde wakuumyň bökdelmekligi bolup geçýär. Emma geýdirilýän bölekleri uzyn etmek hem maksadalaýyk däldir, sebäbi sürtülmeklige ýitgiler artýarlar we sarp edilmeklik azalýar. Sarp etmeklik koeffisiýenti bu ýerde bolar

$$\mu_n = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_n+\lambda\frac{l}{d}}} < \mu = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_n}}. \qquad (6.59)$$

Şonuň üçin geýdirilýän bölekleriň uzynlygyny $l=(3\div 4)d$ çäkler bilen çäklendirýärler. Emma gerekli ýagdaýlaryň birnäçesinde geýdirilýän bölekleriň uzynlygy bu çäkden ýokarydyr. Meselem, bentleriň we dammalaryň (gaçylaryň) göwresindäki basyşly turbalar işiniň häsiýeti boýunça geýdirilýän bölek bolup durýandyrlar, emma olaryň uzynlygy sarp etmekligi artdyrmak talaby bilen däl-de ýöne bendiň ýa-da dammanyň ölçegleri bilen kesgitlenilýär. Ýeri geleninde aýtsak, bu ýagdaýda basyş hem $H_{bas.}$ ululykdan köplenç ýokarydyr. Şonuň üçin basyşly turbalar köplenç (meselem, çabga, joşgun we ş.m. suwlar geçirilende) doly däl kesik boýunça işleýärler.

Jemlemede, daşarky silindriki geýdirilýän bölegiň kadaly işlemekligi üçin ony birikdirilen rezerwuaryndan bolan suwuklyk bilen öňünden doldurmaklygyň gerekdigini belläp geçeliň. Bolmasa ol akymyň diwarlardan üzülmekligi bolan ýagdaýda, ýagny ýuka diwardaky deşik ýaly işlär.

Gaplardan geýdirilýän bölekler arkaly akyp çykmakdaky hasaplamadaky $H_{\text{çäk}}$ çäk basyşyň ululygyny hereketiň möçberiniň kanuny esasynda başgaça kesgitlemeklik mümkindir:

$$d(mV) = \sum Pdt.$$

Ony geýdirilýän bölekdäki akymyň gysylan we çykyş kesiklerine ulanyp, şeýle deňlemäni alarys:

$$dm(V_x - V) = (p - p_x)\omega dt,$$

bu ýerde $dm = Qdt = \rho\omega Vdt;$

Q — sarp etmek, dt — wagt, ρ — dykyzlyk, ω — geýdirilýän bölegiň çykyş kesiginiň meýdany, V — bu kesikdäki akymyň tizligi, dm — massanyň differensialy, V_x we p_x — gysylan kesikdäki tizlik we basyş.

Şeýlelik-de,

$$\rho\omega Vdt(V_x - V) = (p - p_x)\omega dt,$$

bu ýerden alýarys

$\rho V(V_x - V) = p - p_x = p_{wak.}$ — wakuumyň basyşy.

$V = \varphi\sqrt{2gH}$ goýup, tapýarys

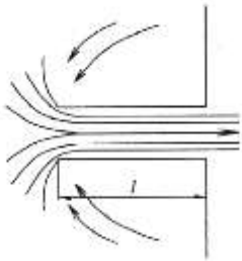
$$H_{\text{çäк}} = \frac{p_{wak.}}{2\varphi^2\rho g\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)}, \tag{6.60}$$

bu ýerde $\varepsilon = \dfrac{V}{V_x} = \dfrac{\omega}{\omega_x}$ — gysylmak koeffisiýenti.

Içerki silindriki geýdirilýän bölek (sur. 6.15). Bu hilli geýdirilýän bölegiň işleýiş ýörelgesi daşarkynyňky ýalydyr. Emma girişde basyşy ýitirmeklik onda daşarky geýdirilýän bölegiňkä garanyňda ep-esli uludyr, şonuň üçin akymyň gysylmaklygy güýçli bolup geçýär, sarp etmekligiň we tizligiň koeffisiýentleri — azdyr we deňdirler $\varphi = \mu = 0{,}71$.

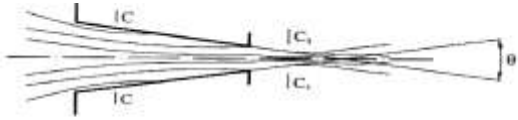
Kiçi uzynlykda $-l < 1{,}5d$ ol akymyň diwarlardan üzülmekligi bilen işleýär. Bu ýagdaýda suw üçin koeffisiýentleriň bahalary deňdirler: $\varepsilon = 0{,}5$; $\varphi = 0{,}98$ we $\mu < 0{,}49$.

Şonuň üçin, eger-de konstruktiw pikir ýöretmeler boýunça başgasy talap edilmeýän bolsa (nämedir bir zat daşarky geýdirilýän bölegi ulanmaklyga päsgel berýär), içerki geýdirilýän bölegi birikdirmekden gaça durmaly, hem-de bolsa turbalar rezerwuarlara birikdirilenlerinde bu turbalaryň uçlarynyň rezerwuaryň içerki üstüne çykmazlyklaryna gözegçilik etmeli.



6.15-nji surat. Içerki silindriki geýdirilýän bölek.

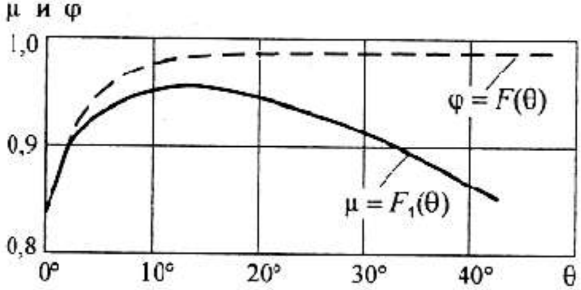
Konfuzorlar (sur. 6.16). Koniki ýygnalýan geýdirilýän bölekde (konfuzorda) girişdäki kiçi garşylyk sebäpli akymyň içerki gysylyşy, daşarky silindriki geýdirilýän bölegiňkä garanyňda azdyr, emma onda çykyşdaky ($C_1 - C_1$ kesik) daşarky gysylma hem peýda bolýar, ondan soňra suwuklyk parallel akymlar boýunça akýar. Geýdirilýän bölegiň içinde akymyň az gysylmaklygy sebäpli konfuzorda basyşy ýitirmeklik daşarky silindriki geýdirilýän bölege garanyňda azdyr, hem-de tizlik uludyr. ζ, φ, μ we ε koeffisiýentler, çykyş kesigine gatnaşdyrylanlarynda, konuslylygyň θ burçunyň ululygyna baglydyrlar, bu 6.17 suratyň grafiklerinde görkezilendir.



6.16-njy surat. Konfuzor.

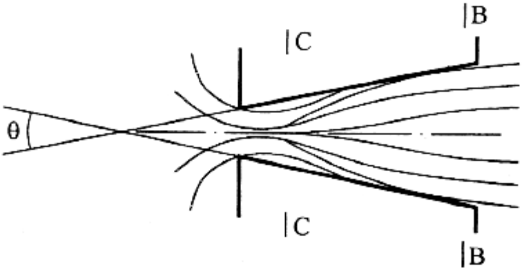
$\mu = f(\theta)$ grafikden sarp etmekligiň başda artýandygy, $\theta = 13^0 24$ bolanda $\mu = 0{,}946$ maksimuma ýetýändigi , soňra kemelýändigi görünýär. Tizligiň koeffisiýenti $\vartheta \cong 20^0$ bolanda $\varphi_{\max}$çenli artýar, soňra hemişelik bolup galýar ($\varphi_{\max} \cong 0{,}98$), emma daşarky silindriki geýdirilýän bölegiňkä garanyňda uludyr (hatda $\theta = 13^0 24'$ bolanda hem $\varphi \cong 0{,}963 > \varphi_n = 0{,}845$).

Konfuzorlary akyma uly idel kinetiki energiýany (urgynyň uzaklygyny we güýjüni) bermek gerek bolanynda ulanýarlar: ýangyn brandspoýtlarynda, gidromonitorlarda, fontanlarda, ežektorlarda we ş.m.).



6.17-nji surat. μ we φ ululyklaryň konuslylygyň θ burçuna baglylyklary

Diffuzorlar (sur. 6.18). Koniki ýygnalmaýan geýdirilýän böleklerde (diffuzorlarda) akymyň gysylmaklygy we wakuum, daşarky silindriki geýdirilýän bölege we konfuzora garanyňda uludyr. Konuslylygyň θ burçunyň artmagy bilen wakuum artýar. Diffuzorda akymyň uly hususy gysylmaklygy we ondan soňraky ep-esli giňelmekligi sebäpli ýitgiler artýarlar, tizligiň φ koeffisiýenti azalýar, emma çykyşdaky basyş artýar. Çykyşda daşarky gysylmaklyk ýokdur we şonuň üçin B—B kesimden aňyrda gysylmaklyk koeffisiýenti $\varepsilon = 1$.



6.18-nji surat. Diffuzor.

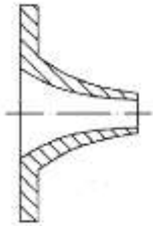
$\theta = 8^0$ bolanda diffuzordan çykysda $\mu = \varphi = 0{,}45$; $\theta_{pr} = 12^0$ bolanda $\mu = \varphi \cong 0{,}26$. $\theta > 12^0$ burçlarda akymyň üzülmekligi bolup geçýär we geýdirilýän bölek ýuka diwardaky deşik ýaly işleýär. Emma geýdirilýän bölege girişdäki sarp etmeklik koeffisiýenti onuň çykyşdaky görkezilen bahalaryndan ep-esli uludyr, şonuň üçin, bütinleý aýdanyňda, diffuzorlar sarp etmekligi artdyrýarlar.

Şonuň üçin diffuzorlary, akyp çykmaklygyň tizligi azalanda sarp etmekligi artdyrmak gerekli bolan ýerlerde (topragyň ýuwlup äkidilmekliginden gaça durmak maksady bilen ýollaryň düşeginiň aşagyndaky turbalarda; çalgynyň berilmekliginiň tizligini azaltmak üçin); çykyşda basyşy artdyrmak gerekli bolan ýerlerde (reaktiw gidroturbinalarda, merkeze ymtylýan sorujylarda we ş.m.), hem-de bolsa geýdirilýän bölekdäki ýokary wakuum netijesinde uly sorujy effekt gerekli ýerlerde (inžektorlarda, ežektorlarda we ş.m.) ulanýarlar. Ýeri gelende, ežektoryň yzygiderli ýerleşen diffuzoryň (sormaklyk) we konfuzoryň (çalt akyp çykmaklyk) ulgamy bolup durýandygyny belläliň.

Konoidal geýdirilýän bölek (sur. 6.19). Konoidal geýdirilýän böleklerde ýuka diwardaky deşigiň profili ol deşikden çykýan akymyň formasyny gaýtalaýar, çykyş bölegi bolsa silindriki görnüşe eýedir. Beýle geýdirilýän böleklerde akym diwarlardan üzülmeýär we wakuum ýüze çykmaýar. Geýdirilýän bölekden çykanynda akym gysylmaklygy başdan geçirmeýär:

koeffisiýentler $\varepsilon = 1$ we $\varphi = \mu$, özi hem soňkularyň örän uly bahasy bardyr $\approx 0{,}97 - 0{,}995$. Şeýlelik-de, konoidal geýdirilýän bölekler has netijelidirler. Emma profili gaýtalamaklygyň takyklygyna we onuň üstüniň arassalagyna ýokary talaplar olary taýýarlamaklygy kynlaşdyrýarlar, şonuň üçin ular giň ýaýraýyşa eýe bolmadylar.

6.1 goşundyda suw üçin dürli geýdirilýän böleklerden akyp çykmaklygyň koeffisiýentleriniň orta bahalary getirilendirler.



6.19-njy surat. Konoidal geýdirilýän bölek.

6.5. ŞEPBEŞIKLIGIŇ AKYP ÇYKMAKLYGA TÄSIRI

Öňki paragraflarda deşikler we geýdirilýän bölekler üçin akyp çykmaklygyň getirilen koeffisiýentleriniň ululyklary Reýnoldsyň uly sanlarynda dogrudyrlar: $\mathrm{Re} \geq 100000$, bu ýerde Reýnoldsyň sany aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

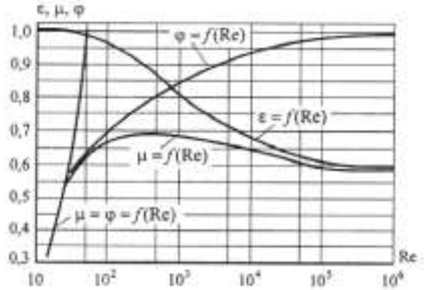
$$\mathrm{Re} = \frac{Vd}{\nu} \cong \frac{\sqrt{2gH}\,d}{\nu}, \tag{6.61}$$

bu ýerde d — çykyş deşiginiň diametri;

ν — kinematiki şepbeşiklik.

ν ululygyň uly bahalarynda (şepbeşik suwuklyklar: çalgy ýaglary, nebit we ş.m.) we örän kiçi d uluyklarda Reýnoldsyň sany $\mathrm{Re}=10^5$ ululykdan kiçi bolar. Bu ýagdaýda $\mu, \varepsilon, \varphi$ we ζ koeffisiýentler Re sana baglylykda ymykly üýtgärler. Bu fakt grafiklerde aýdyň görünýär (sur. 20), olar A.D.Altşul tarapyndan geçirilen, ýuka diwardaky kiçi deşikden suwuň akyp çykmaklygy boýunça geçirilen tejribeleriň esasynda düzülendirler.

Grafiklerden görnüşi ýaly gysylmaklygyň ε koeffisiýenti Re sanyň artmagy bilen Re=10 bolanda 1-den $\mathrm{Re}=10^6$ bolanda 0,6-a çenli üznüksiz kemelýär; tizligiň φ koeffisiýenti artýar, degişlilikde, 0,3-den 0,98-e çenli, sarp etmekligiň koeffisiýenti μ $\mathrm{Re}\approx 0{,}5\cdot 10^3$ bolanda $\mu_{\max}=0{,}68$ çenli artýar, soňra $\mathrm{Re}=10^6$ bolanda $\mu=0{,}59$-a çenli haýallyk bilen kemelýär.



6.20-nji surat. $\varepsilon, \mu, \varphi$ ululyklaryň Re sana baglylykda funksiýa görnüşindäki grafikleri.

$\mathrm{Re}\geq 10^5$ sanlar üçin A.D.Altşul kiçi deşik üçin sarp etmekligiň koeffisiýenti üçin şu empiriki formulany eklip etdi:

$$\mu = 0{,}592 + \frac{5{,}5}{\sqrt{\mathrm{Re}}}. \qquad (6.62)$$

№ №	Rusça	**Türkmençe**
1	Насадка	geýdirilýän bölek
2	сопло	lüle
3	поток	akym, akgyn
4	фаска	ýylmanan gyra; ýylmanan erňek
5	установившееся	durugyşmak
6	вязкость	şepbeşiklik;
7	струя	akym

7.Gidrohereketlendirijiler

Mehanizmleri herekete getirmek üçin niýetlenen desgalaryñ toplumyna hereketlendiriji diýilýär. Hereketlendirijiler elektrik, mehaniki, pnewmatiki, gidrawliki we kombinirlenen hereketlendirijilere bölünýärler. Olardan ýol gurluşyk maşynlarynda gidrawliki hereketlendirijiler giñden ulanylýar. Gidrawliki hereketlendijilere gysgaça gidrohereketlendirijiler diýilýär.

Gidrohereketlendijiler nasosdan, gidrodwigatelden, gidroapparaturalardan we kömekçi enjamlardan ybaratdyr. Nasosyñ kömegi bilen mehaniki energiýa suwuklyk energiýasyna öwrülýär. Nasosdan çykýan uly basyşly suwuklyk gidrodwigatele berilýär. Gidrodwigatellerde suwuklyk energiýasy mehaniki energiýa öwrülýär. Başgaça aýdanymyzda gidrohereketlendirijiñ kömegi bilen haýsy hem bolsa bir dwigateliñ mehaniki energiyasy başga bir dwigatele geçirilýär.

Gidrohereketlendirijileriñ beýleki hereketlendirijilerden artykmaçlyklary şulardan ybarat:

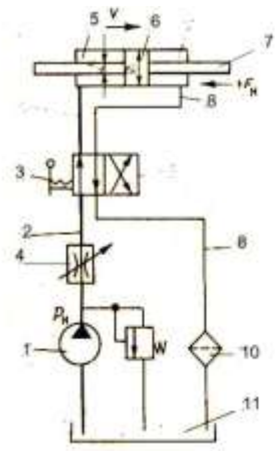
1. Agramy ýeñil, göwrümi kiçi. Köplenç ýagdaýda reduktor, mufta, zynjyr, çeki ýaly zatlary ulanmagyñ zerurçylygy ýok;

2. Mehanizmleriñ we walyñ ýerleşen ýagdaýyna seretmezden maşynlarda ýerleşdirmegiñ ýönekeýligi;
3. Inersiýalylygyñ kiçiligi. Bu häsiýeti olaryñ işe ukyplylygyñ möhletini uzaltmaga we hereketiñ ugruny gysga wagtda üýtgetmäge mümkinçilik berýär;
4. Işçi organlaryñ hereketini basgançaksyz (tekiz) üýtgedip bolmagy;
5. Işçi organy we dwigateli artykmaç agram düşmekden ýönekeý we ynamly gorap bolmaklygy;
6. Standartlaşdyrylan we unifisirlenen gidroapparaturalary we düwünleri ulanyp bolmaklygy. Bu bolsa gidrohereketlendirijileriñ özüne düşýän gymmatyny arzanlatmaga, remonty ýeñilleşdirmäge we önümçilikde giñden ulanmaga mümkinçilik döredýär;
7. Gidrohereketlendirijilerde işçi suwuklyk hökmünde mineral ýaglar ulanylýar, bu bolsa bir wagtda işçi organlaryñ ýaglanyp durmagyna we olaryñ könelmezligine yardam edýär.

Gidrohereketlendirijiniñ esasy kemçilikleriniñ biri işçi suwuklyklaryñ şepbeşikliginiñ howanyñ temperaturasyna baglylygydyr.

Gidrohereketlendirijiniñ gurluşy we işleýiş prinsipi

Gidrohereketlendiriji nasosdan, gidrodwigatelden, gidroapparaturalardan, kömekçi desgalardan we suwuklykgeçirijilerden ybarat (7.1-nji surat). Nasos mehaniki energiýany suwuklyk energiýasyna öwürmek üçin niýetlenilýär.



7.1-nji surat. Gidrohereketlendirijiniñ şekilli: 1-nasos; 2-naporly suwuklykgeçiriji; 3-paýlaýyjy; 4-drossel; 5-gidrosilindr (göni çyzykly yza-öñe hereket edýän gidrodwigatel); 6-silindriñ porşeni; 7-silindriñ stogy; 8-yzyna akdyrýan suwuklykgeçiriji; 9-goraýyjy klapan; 10-süzgüç; 11-gidrobak

Nasosdan çykýan suwuklyk paýlaýyjynyñ 3 kömegi bilen gidrodwigatele berilýär (gidrosilindriñ porşeniniñ çep tarapyna). Basyş güýjiñ täsiri esasynda porşen sag tarapa hereket edýär. Gidrosilindriñ ştogyna birleşdirilen mehanizm güýç bilen herekete getirilýär we mehaniki işi ýerine ýetirýär. Porşeniñ sag tarapyndaky işçi suwuklyk yzyna akdyrýan suwuklykgeçiriji 8 bilen paýlaýyjynyñ 3 we süzgüjiñ 10 üstünden geçip gidrobaka 11 berilýär. Gidrosilindriñ ştogy sag tarapdaky gyraky nokada barandan soñ paýlaýyjy 3 awtomatyñ kömegi bilen ýa-da el bilen beýleki ýagdaýda geçirilýär, ýagny basyşly suwuklyk gidrosilindriñ sag tarapyna berilýär. Porşen basyş güýjiñ täsiri esasynda çep tarapa hereket edýär; silindrden gysylyp çykarylan suwuklyk paýlaýyjynyñ 3 we süzgüjiñ üstünden geçip gidrobaka 11 guýulýar.

Gidrosilindriñ ştogynyñ tizligi gidrosistemadaky işçi suwuklygyñ akym mukdary bilen, akym mukdary bolsa drosseliñ 4 kömegi bilen sazlanylýar.

Gidrohereketlendirijidäki goraýyjy klapan 9 gidrosistemadaky basyşy belli bir derejede saklamak üçin niýetlenilýär. Ol drosselden geçýän suwuklygyñ mukdary nasosyñ öndürijiliginden az bolanda, ýa-da gidrosilindre zor düşende nasosy artykmaç basyşyñ täsirden gorap saklaýar, ýagny gidrosistemadaky basyş çäklendirilen derejesinden geçse, goraýyjy klapan açylýar we işçi suwuklyk yzyna, gidrobaka guýulýar. Süzgüç 10 adyndan belli boluşy ýaly, işçi suwuklygy oña düşýän gaty jisimleriñ ownujak böleklerinden arassalamak üçin niýetlenilýär.

Gidrohereketlendirijilerde gowy ýaglaýjylyk ukyby, köpürjik döredmeýän, demiri poslatmaýan, işçi temperaturada bug emele getirmeýän, pes temperaturada dogmaýan suwuklyklar ulanylýarlar. 7.1. tablisada gidrohereketlendirijilerde giñden ulanylýan bir näçe suwuklaryñ häsiýetleri görkezilýär.

7.1.–nji tablisa. Gidrosistemalarda ulanylýan işçi suwuklaryñ häsiýetnamasy

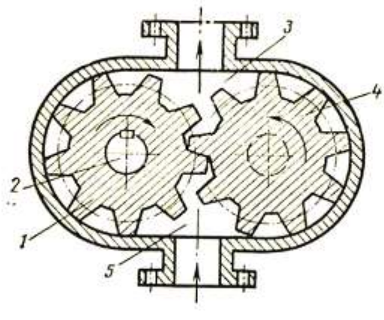
Işçi suwuklygyñ markasy	Dykyzlyk, kg/m^3	Kinematiki şepbeşiklik (t=50^{0}C) m^2/sek	Goýalmak temperaturasy, ^{0}C	Işçi temperaturalaryñ çäkleri, ^{0}C
Weretýon ýagy АУ	886-896	$13 \cdot 10^{-6}$	-45	-30…..+60
Transformator ýagy:	886	$9 \cdot 10^{-6}$	-45	-35….+53
АМГ-10	850	$10 \cdot 10^{-6}$	-70	-50….+60
АГМ	880	$8,6 \cdot 10^{-6}$	-60	-55….+55
ВМГЗ	865	$10 \cdot 10^{-6}$	-60	-50…+50
Industrial ýagy				
И-12	876-891	$12 \cdot 10^{-6}$	-30	-20…+60
И-20	881-910	$20 \cdot 10^{-6}$	-20	-5…+90
И-30	886-916	$30 \cdot 10^{-6}$	-15	5…60
И-45	888-920	$45 \cdot 10^{-6}$	-10	5…60
Turbina ýagy				
Т-22	901	$22 \cdot 10^{-6}$	-15	0…50
Т-30	901	$30 \cdot 10^{-6}$	-10	10…50
Dizel ýagy				
Дп-8	918	$49,5 \cdot 10^{-6}$	-25	10…100
Дп-11	918	$80 \cdot 10^{-6}$	-15	0…100

7.1.Nasolar

Gidrohereketlendirijilerde ulanylýan nasoslara şesternýaly, wintli, plastinkaly, radial-porşenli we aksial-porşenli nasoslar degişlidir.

Şestrnýaly nasoslar

Şesternýaly nasos korpusdan hereketlendiriji we hereketleniji (eýýeriji) şesternýalardan we gapakdan ybarat. (7.2-nji surat). Şesternýalaryñ ölçegleri deñ, olar biri-biri bilen ýakyn aralykda ilişdirilip ýerleşdirilýär. Hereketlendiriji şesternýanyñ guýma walyny güýç alynýan dwigatel herekete getirýär. Şesternýalar bilen korpusyñ we gapagyñ arasyndaky yş örän kiçi bolmaly. Birnäçe wagtyñ geçmegi bilen ýa-da işçi suwuklygyñ hapalanmagy bilen yş ulalýar. Bu bolsa nasosyñ öndürijiliginiñ peselmegine getirýär.



7.2-nji surat. Şesternýaly nasosyñ şekilli: 1,4–hereketdiriji we hereketleniji şesternýalar; 2-hereketlendiriji şesternýanyñ waly; 3-korpusda gysylan sowuklyklaryñ toplanýan ýeri; 5- sorujy giñişlik

Nasosyñ işleýiş prinsipi şundan ybarat. Şesternýalar aýlananda sorujy giñişlikdäki suwuklyk dişleriñ arasyndaky boşluklara girýär we çykaryjy deşige tarap hereket edýär. Şesternýalar bilen korpusyñ arasyndaky yş örän kiçiligi sebäpli suwuklyk dişleriñ arasyndaky boşlukdan çykyp bilmän diñe öñe gidip, çykaryjy deşigiñ öñünde toplanýar. Ol ýerde basyş ulalýar we suwuklyk nasosyñ korpusyndan gysylyp çykarylýar. Şesternýaly nasosda basyşyñ ulalmagy suwuklykdan doly dişara boşlyga beýleki şesternýanyñ dişiniñ girip göwrümiñ kiçelmegi bilen düşündirilýär.

Şesternýaly nasoslar döredýän basyşy boýunça 3 topara bölünýärler:

1. Pes basyşly nasoslar (P<1,0 MPa);
2. Orta basyşly nasoslar (P=1,0…3,0 MPa);
3. Ýokary basyşly nasoslar (P>3,0MPa).

Pes basyşly şesternýaly nasoslar stanoklary we mehanizmleri ýaglamak we sowatmak üçin ulanylýarlar. Orta basyşly nasoslar stanoklary we maşynlaryñ işçi organlaryny uly tizlik bilen hereketlendirmek üçin ulanylýarlar. Ýokary basyşly nasoslar bolsa gidrodwigatellereriñ kömegi bilen uly güýç döretmekde ulanylýarlar.

Ýol gurluşyk maşynlarynda НШ tipli şesternýaly nasoslar giñden ulanylýarlar. Olaryñ tehniki häsiýetnamalary 7.2-nji tablisada görkezilýar.

Şesternýaly nasoslaryñ artykmaçlyklaryna şu aşakdakylar degişli: gurluşynyñ ýönekeýligi, ynamly işlemegi, çaklañlygy, agramynyñ eñilligi, takyk ýasamaly bölekleriñ azlygy we rewersizlenmek (hereketiñ ugrunyny üýtgedip bolmak) mümkinçiligi.

Şesterñyaly nasoslar 20 mPa çenli basyş döredip bilýarler. Olar gidromotor hökmünde-de ulanylýarlar.

7.2-nji tablisa. Şesternýaly nasoslaryñ tehniki häsiýetnamalary

Görkezijiler	НШ-10	НШ-32	НШ-46	НШ-67	НШ-98
Öndürijiligi, l/sek.	0,17	0,53	0,78	1,12	1,65
Basyşy, MPa	10	10	10	10	10
Aýlaw sany, aý/min	1109-1650	1109-1650	1109-1650	1109-1650	1109-1650
Gowrümleýin p.t.k.	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Sorujylyk beýikligi, m	-	-	-	-	-

Wintli nasoslar

Wintiñ gapdal görnüşi sikloidal egri çyzyklar bilen çyzylan wintli nasosy 1932-nji ýylda şwed inženeri Montelius döredipdir.

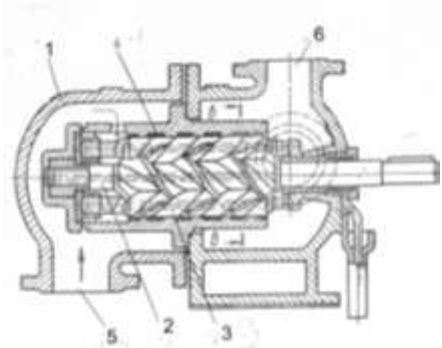
Wintleriñ sany boýunça nasoslar bir-,iki-,üç- we köpwintli nasoslara bölünýärler.

Bir wintli nasos ýorite rezinden ýasalan iki girişli korpusdan we poslamaýan, ýa-da hromlanan polatdan ýasalan bir girişli wintden ybarat. Wint dwigatele kardan walyñ kömegi bilen birleşdirilýär.

Bir wintli nasoslar suw üpjünçiliginde we hapalan suwlary akdyrmakda şepbeşikligi 0,045 m^2/sek-dan, düzümindäki hapalaryñ massasy 5%-den, gaty bölejikleriñ ululygy 1 mm-den, temperaturasy 80^0S-dan uly bolmadyk suwlary nasoslamak üçin ulanylýarlar. Köpwintli nasoslar şepbeşikligi uly bolan suwuklary hereketlendirmek üçin niýetlenilýar.

Gurluşyk maşynlaryñ gidrohereketlendirijilerinde köplenç üçwintli nasos ulanylýar. Nasos korpusdan 1, hereketlendiriji waldan 2, iki sany hereketleniji waldan 3, oboýmadan (içki diwarynyñ hemme ýerine, aýlanýan wintleriñ öñe çykyp duran ýerleri deger ýaly edip ýasalan guty) 4, sorujy 5 we naporly 6 patrubkalardan ybarat (1.3-nji surat).

Wintler iki girişli. Olar biri-birine we oboýmanyñ içki diwaryna mümkin boldygyça ýakyn ýerleşdirilýär. Olaryñ arasyndaky yş has kiçi bolmaly. Yş kiçi boldygyça nasosyñ göwrümleýin peýdaly täsir koeffisiýenti uly bolýar.



7.3-nji surat. Üçwintli nasos: 1-korpus; 2-hereketlendiriji wint; 3-hereketleniji wint; 4-oboýma; 5-sorujy patrubka; 6-naporly patrubka

Bir wintiñ iki sany çykyp duran aýlawly gerşleriñ, oboýmanyñ içki we ýanaşyk duran wintiñ çykyp duran aýlawynyñ daşky üstleriñ arasynda ýapyk göwrüm emele gelýär. Wintler aýlananda ýapyk göwrümde ýerleşen suwuklyk sorujy patrubkadan naporly patrubka tarap deñ ölçegli hereket edýär.

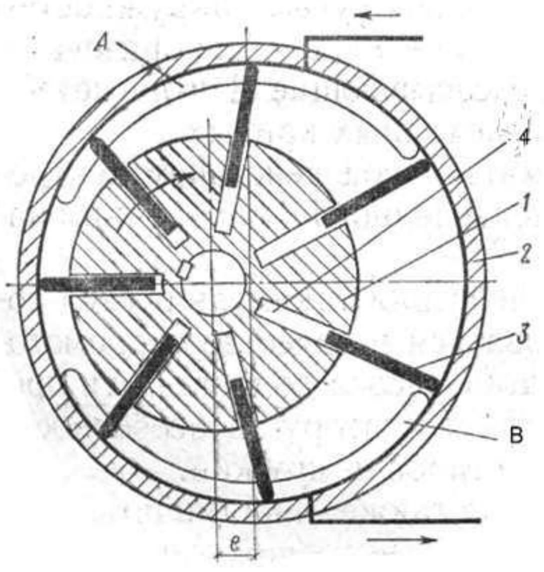
Nasosyñ uzynlygy wintiñ çykyp duran gersiniñ bir doly aýlawynyñ uzynlygyndan (ädiminden) uly bolmaly. Üç wintli nasoslar 20 MPa çenli basyş döretmäge ukyply. Wintli nasoslar gidromotor hökmünde hem ulanylýarlar.

Wintli nasoslaryñ artykmaçlyklary hereketlendirilýan ýagyn arassalygyna edilýan talabyñ ýokary däldiginden, sessiz we ygtybarly işlýänliginden, we öndürijiligiñ birsydyrgynlygyndan ybaratdyr.

Plastinaly nasoslar

Plastinaly nasos rotordan 1, statordan (korpusdan) 2, plastinalardan girip-çykar ýaly sümelgelerden 4 we plastinalary itýän pružunalardan 5 ybarat (**7**.4-nji surat). Statoryñ gapdalky gapaklarynda sorujy (A) we naporly (B) deşikler bar. Olar statoryñ içki töweregi boýunça ýerleşdirilýär. Rotor stator bilen eksentrik ýerleşdirilýär.

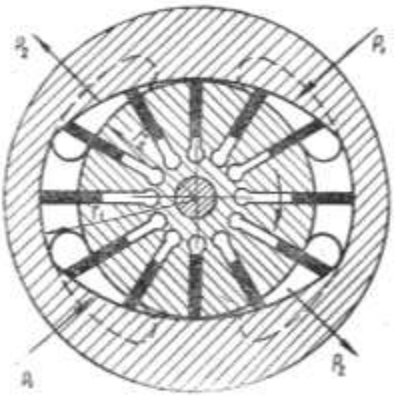
Rotor aýlananda plastinalar merkezden daşlaşdyryjy güýjiñ täsiri esasynda statoryñ içki diwaryna jebis degip, onuñ üstünde typýarlar. Rotoryñ statora görä eksentrik ýerleşýänligi sebäpli iki plastinanyñ, rotoryñ we statoryñ aralygynda ýerleşen göwrüm periodiki üýtgäp durýar.



7.4-nji surat. Plastinaly nasosyñ şekili: 1-rotor, 2-stator (korpus), 3-plastina; 4-plastina üçin sümelge

Haçanda plastinalaryñ arasdyndaky göwrüm ulalanda basyş kiçelýär, suwuklyk sorujy deşikden nasosa girýär; plastinalaryñ arasyndaky göwrüm kiçelende bolsa basyş ulalýar, suwuklyk naporly deşikden suwuklykgeçirijä iberilýar.

Plastinaly nasoslar bir we iki ýola sorujy görnüşlere bölünýärler. Bir ýola sorujy nasosyñ silindr şekili korpusy bar (7.4-nji surat). Iki ýola sorujy nasosyñ korpusynyñ ýöriteleşdirilen profilli bar (7.5-nji surat). Iki ýola sorujy nasosda rotor bir gezek aýlananda soruş we gysyş prosessi iki sapar bolup geçýär.



7.5-nji surat. Iki ýola sorujy nasosyñ şekili

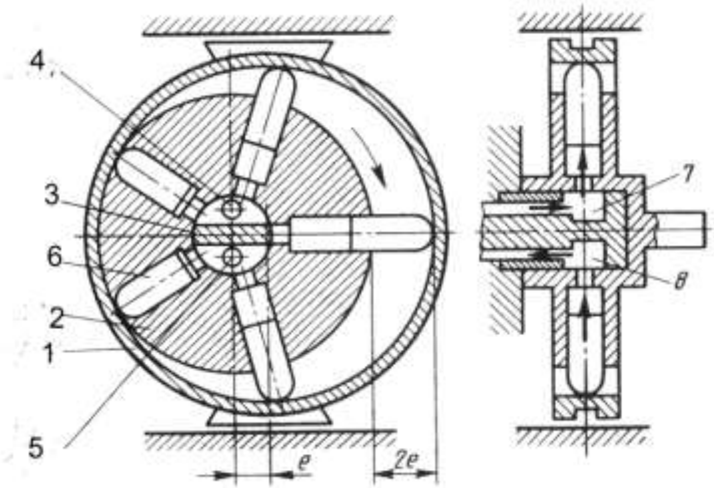
Bir ýola sorujy nasoslaryñ öndüjiligini sazlap bolýar. Iki ýola sorujy nasoslar sazlanylmaýan nasoslara degişli. Bu tipli nasoslar gidromotor hökmünde-de ulanylýarlar. Bir ýola sorujy plastinaly nasoslar 7 MPa çenli, iki ýola sorujy nasoslar bolsa 16 MPa basyş döretmek üçin niýetlenilýar.

Plastinaly nasoslaryñ artykmaçlyklaryna öndürijiligiñ birsydyrgynlygy, göwrüminiñ kiçiligi we akymyñ ugruny üýtgedip bolýanlygy degişldiri.

Nasosyñ esasy kemçiliklerine hereketlendirilýän suwuklygyñ düzümindäki gaty bölejikleriñ mukdaryna duýgyrlygy we plastinanyñ çalt könelýänligi degişlidir.

Radial – porşenli nasoslar

Korpusa görä eksentrik ýerleşdirilen potorda 1 diametriñ ugry boýunça (radial) ugrukdyrylan, täk sanly, porşenler bar. Bir hatarda 5;7 we 9 sany porşen ýerleşdirilýär. (7.6-njy surat). Porşenler 6 rotordaky radial deşiklerde ýerleşdirilen silindrlerde öñe-yza (gaýtalanýan) hereket edyärler. Rotor bir doly aýlaw edende her-bir silindrde soruş we gysyş hadysasy bolup geçýär. Porşeni öñe-yza hereket etmäge silindriñ düýbindäki pružina, merkezden daşlaşdyrýan güýç we rotoryñ üsti bilen korpusyñ arasyndaky aralygyñ üýtgemegi mejbur edýär.



7.6-njy surat. Radial-porşenli nasosyñ şekili: 1-korpus; 2-rotor; 3-paýlaýyjy ok; 4-sorujy kanal; 5-naporly kanal; 6-porşen; 7 we 8-kabul ediji kameralar

Rotor paýlaýyjy deşikleri, ýagny sorujy 4 we naporly 5 kannalary bolan okuñ 3 daşynda aýlanýar. Rotoryñ bir aýlawynda silindriñ düýbindäki deşikler gezekli-gezegine sorujy we naporly kanallar bilen birleşýärler.

Radial-porşenli nasosy bir korpusda ýerleşdirilen birnäçe porşenli nasoslaryñ toplumy diýip göz öñüne getirip bolar. Porşenlerde soruş hadysasy belli bir wagtda başlanman, yzly-yzyna başlanýar. Bu bolsa nasosyñ öndürijiliginiñ bisydyrgynlygyny düýpli azaltmaga ýardam edýär.

Radial-porşenli nasoslar gidromotor hökmünde-de ulanylýarlar. Şu ýerde radial-porşenli gidromotorlaryñ, beýleki gidromotorlar bilen deñeşdirilende, ölçegleriniñ we agramynyñ ulydygy sebäpli diñe kuwwatly gurluşyk maşynlarynda ýa-da stasionar (duran ýerinde durýan) gidrohereketlendirilerde ulanylýandygyny belläp geçmek zerurdyr.

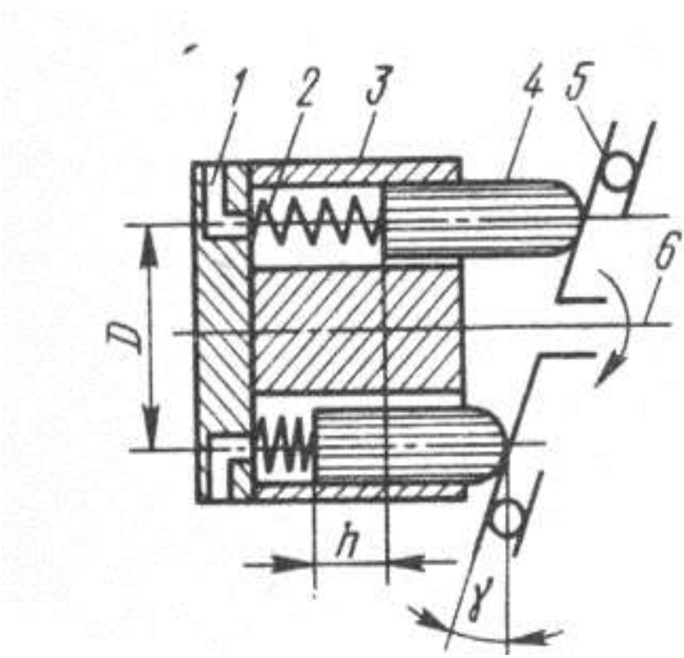
Radial-porşenli gidromotoryñ sazlanýan we sazlanmaýan görnüşli bar. Walyñ aýlaw tizligini we tizligiñ ugryny eksentrigiñ ulylygyny we alamatyny üýtgetmek bilen üýtgedip bolýar.

Radial-porşenli nasoslar köplenç elektrodwigatel bilen komplektlenilýär (ýygnanylýar). Maşyn-gurluşyk senatynda НП tipli radial-porşenli nasoslar giñden ulanylýar. Olaryñ bir minutdaky öñündürijiligi 400 litre çenli, döredýän basyşy 20 MPa çenli ýetýär. Bu tipli nasoslaryñ doly peýdaly koeffisiýenti 0,7…0,90 aralykda üýtgeýär.

Aksila-porşenli nasoslar

Aksial-porşenli nasoslar togalak blokda 3, aýlanma oka parallel edip ýerleşdirilen birnäçe porşenli nasoslaryñ toplumyndan ybarat. Porşenlerde kriwoşipli –şatunly mehanizm ýok. Silindrin düýbünde ýerleşen pružin 2 porşeni 4 öñe tarap itip, ýapgyt duran diske 5 direýär (7.7-nji surat). Silindrli blok

3 aýlananda blok bilen ýapgyt diskiñ 5 arasyndaky aralyk üýtgeýär. Bu bolsa porşenleri gezekli-gezegine yzyna silindre tarap gitmäge mejbur edýar. 7.7-nji suratda ýokarky porşeniñ öñe tarap doly çykyp duran, aşaky porşeniñ bolsa silindre doly girip duran ýagdaýy görkezilýär.

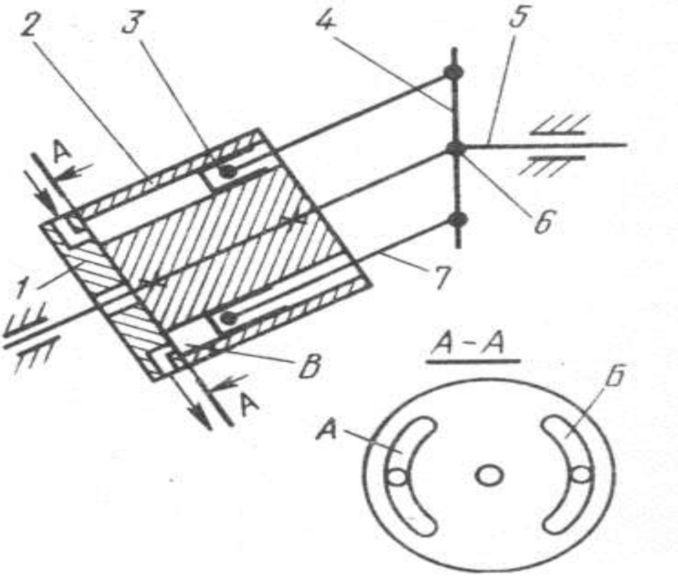


7.7-nji surat. Ýatyk diskli aksial-porşenli nasosyñ şekili: 1-paýlaýyjy enjam; 2-pružina; 3-silindrli blok; 4-porşen; 5-ýapgyt disk; 6-hereketlendiriji wal

Porşenleriñ ädimi (süýşýän aralygy) diskiñ ýapgytlygyna bagly. Haçanda disk aýlanýan silindrli bloga perpendikulýar dursa, nasos işlemesini goýar. Şu tipli nasoslaryñ öndürijiligi, gidromotorlaryñ walynyñ aýlaw sany diskiñ ýapgytlygy bilen sazlanylýar.

Aksial-porşenli nasoslar ýapgyt diskli (7.7-nji surat) we ýapgyt blokly (7.8-nji surat) görnüşlere bölünýärler.

Ýol gurluşyk maşynlarynda aksial-porşenli nasoslaryñ we gidromotorlaryñ ýapgyt blokly görnüşleri giñden ulanylýarlar. Bu tipli nasoslarda 7…9 silindr bolýar, porşenleriñ diametri 10…50 mm aralykda. Nasosyñ işçi göwrümi-5…1000 sm^3.



7.8-nji surat. Aksial-porşenli nasosyñ ýapgyt blokly görnüşi: 1-paýlaýyjy enjam; 2-silindri blok; 3-porşen; 4-hereketlendiriji ýapgyt disk; 5-hereketlendiriji wal; 6-kardanly şarnir; 7-şatun

Aksial-porşenli nasoslaryñ peýdaly täsir koeffisiýenti uly (η=0,97…0,98); inersionlygy kiçi; hereketiniñ ugruny üýtgedip bolýar; agramyna görä energiýa sygymy uly.

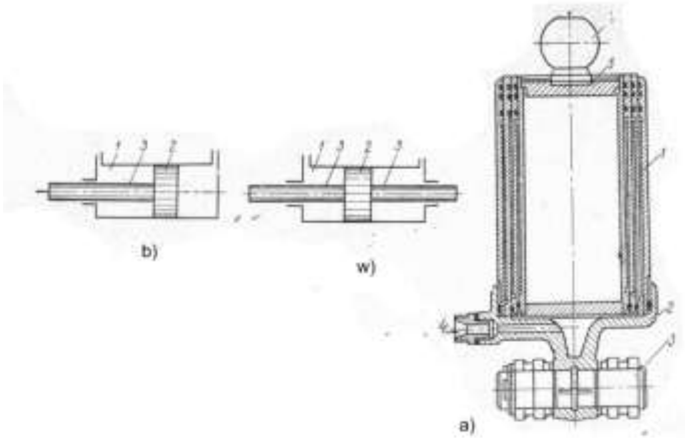
7.2.Gidrodwigateller

Işçi suwuklygyñ gidrawliki energiýasyny mehaniki energiýa öwürmek üçin niýetlenen gidromaşyna gidrodwigatel diýilýär. Gidrodwigateller işçi enjamynyñ edýän hereketi boýunça üç topara ýagny gidrosilindrlere, öwrülýän gidrodwigatellere we gidromotorlara bölünýärler.

Gidrosilindriñ işçi enjamy (stogy) öñe-yza bolan göniçyzykly hereket edýär; öwrülýän gidrodwigateliñ işçi enjamy doly bir aýlawa (360 gradusa) çenli aýlanma hereket edýär; gidromotoryñ işçi enjamy bolsa waly çäksiz aýlanma hereket edyär.

Gidrosilindrler

Gidrosilindrler konstruksiýalary boýunça porşenli, plunžerli, membranaly we uzaldylýan (teleskopik) toparlara bölünýärler. Porşenli gidrosilindrler silindrden we ştoga berkidilen porşenden ybarat. Işçi suwuklygyñ silindriñ uly basyşly gapdalyndan pes basyşly gapdalyna geçmezligi üçin porşende jebislendiriji manžet goýulýar. Ştogyñ silindre girip çykýan ýerinde žebislendiriji salnik bar. Porşenli gidrosilindrler bitaraplaýyn, bir ştokly iki taraplaýyn we iki ştokly iki taraplaýyn görnüşlere bölünýärler (7.9-njy surat).

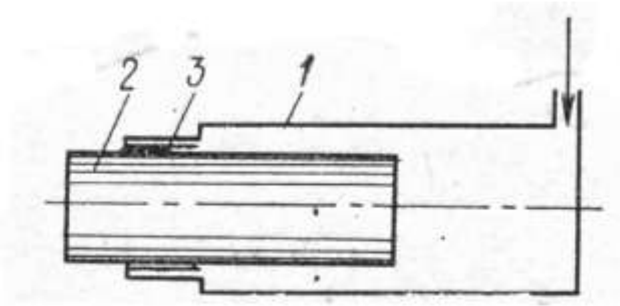


7.9-njy surat. Porşenli gidrosilindrleriñ bir taraplaýyn (a), bir ştokly iki taraplaýyn (b), iki ştokly iki taraplaýyn (w) görnüşleriniñ şekilleri: 1-silindr; 2-porşen; 3-ştok

Bir taraplaýyn gidrosilindrde uly basyşly işçi suwuklyk diñe porşeniñ bir tarapyna berilýär. Basyş güýjiñ esasynda gidrosilindrler işçi enjamy öñe tarap hereket edýär; yz tarapa bolsa daşky güýjüñ (pružinyñ, galdyrylýan ýüküñ öz agramy we ş.m.) täsiri esasynda hereket edýär.

Iki taraplaýyn gidrosilindrlerde işçi suwuklyk gezekli-gezegine porşeniñ iki gapdalyna berilýär. Işçi enjam iki tarapda suwuklygyñ basyş güýji esasynda hereket edýär.

Plunžerli gidrosilindrler (7.10-njy surat) silindrik korpusdan 1, plunžerden 2 (iñlisçe “plunger”-çümdirilmek) we jebislendiriji salnikden 3 ybarat. Plunžeri uzynlygy diametriñ birnäçe essesinden uly bolan porşen diýip göz öñünde getirip bolar. Plunžeriñ kese-kesigi bütewi we turba şekilli bolýar.

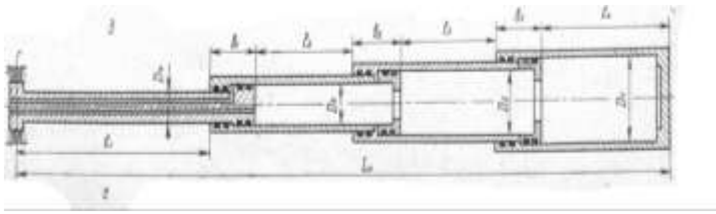


7.10-njy surat. Plunžerli gidrosilindriñ şekilli: 1-korpus; 2-plunžer; 3-salnik

Plunžeriñ gapdal üsti silindriñ içki diwary bilen galtaşanok. Bu bolsa olaryñ porşenli gidrosilindrlerden artykmaçlydyr, sebäbi silindriñ içki diwaryny ýylmanaklamagyñ zerurçylygy ýok. Silindriñ germetikligi grundbuksada (ugrukdyryjy muftada) oturdylýan salnigiñ kömegi bilen berjaý edilýär.

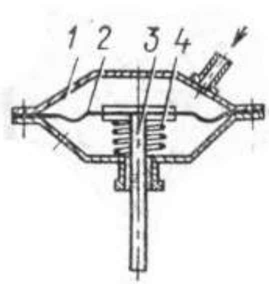
Plunžerli gidrosilindriñ porşenli gidrosilindrden kemçiligi olaryñ göwrüminiñ ulylydyr we agyrlygydyr.

Uzaldylan gidrosilindriñ işçi enjamy birnäçe biri-biriniñ içine girýän konsentrik ýerleşdirilen silindrlerden ybaratdyr. Bu ýerde yzda ýerleşen silindr öñde ýerleşen silindriñ porşeni ýaly işleýär. Diametri D_1 bolan daşky silindr, hereket edenok, ol maşyna berkidilýär.(7.11-nji surat). Gidrosilindre uly basyşly suwuklyk berilende ilki bilen D_2 –diametrli silindr porşen hökmünde daşky silindrden öñe çykyp başlaýar. Haçanda çäklendiriji gerşe ýetende ol hereket etmesini goýýar, soñra onuñ içinde ýerleşen silindr porşen hökmünde öñe çykyp başlaýar.



7.11-nji surat. Uzaldylýan (teleskopik) gidrosilindriñ şekilli

Membranaly gidrosilindr korpusdan 1, rezin membradan 2, ştokdan 3 we pružinden 4 ybarat (7.12-nji surat). Bu tipli gidrosilindriñ işleýişi şundan ybarat. Gidrosilindre işçi suwuklyk berilende basyş güýjiñ täsiri esasynda membrana ýokary tarapa süşýär we ştogy öñe tarap itýär, pružiny gysýar. Işçi suwuklygyñ gelmesi kesilenden soñ pružin ştogy yzyna gaýtarýar.



7.12-nji surat. Membranaly gidrosilindriñ şekilli: 1-korpus; 2-rizinden ýasalan membrane; 3-ştok; 4-pružina

Membranaly gidrosilindrler enjamlary gysga aralykda öñe-yza hereketlendirmek üçin ulanylýarlar.

Gidrosilindriň hasaby

Gidrosilindrleriñ hasaby gidrosistemadaky basyşa we ştogyñ döretmeli güýjine görä porşeniñ diametrini we nasosyñ öndürijiligini kesgitlemekden ybarat. Bir ştokly gidrosilindriñ porşeniniñ meýdany aşakdaky formula bilen kesgitlenýär

$$\mathbf{D = (4F/\pi \cdot p)^{0,5}}$$

Bu ýerde**:** **F**-stogyñ döretmeli güýji; p-gidrosistemada basyş.

Nasosyñ öndürijiligi porşeni berilen tizlik bilen hereketlendirmek üçin gerek bolan işçi suwuklygyñ mukdaryna deñ bolmaly, ýagny

$$\mathbf{Q=\upsilon \cdot (\pi Д^2)/4}$$

Bu ýerde: **υ**-ştogyñ hereketiniñ tizligi.

Haçanda gidrohereketlendirijide birnäçe gidrosilindr bolsa, nasosyñ öndürijiligi köp işçi suwuklyk sarp edýän gidrosilindre görä kesgitlenilýär.

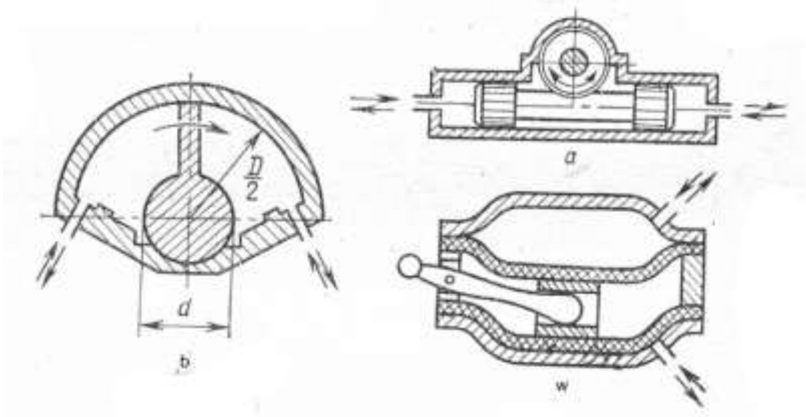
Ştogyñ yzyna gaýtýan tizligi şeýle kesgitlenilýär

$$\mathbf{\upsilon=4Q/\pi(Д^2-d^2)}$$

Bu ýerde: Д-porşeniñ diametri; **d**-ştogyñ diametri.

Öwrülýän gidrodwigateller

Ýokarda bellenip geçilişi ýaly öwrülýän gidrodwigatelleriñ işçi enjamy 360 gradusa çenli aýlanyp bilýär. Konstruksiýalary boýunça gidrodwigateller porşenli, perrikli we membranaly toparlara bölünýärler (7.13-nji surat). Olar kranlarda, ekskawatorlarda, ýükleýijilerde, maşynlaryñ dolandyryjy mehanizmlerinde (rylda) ulanylýarlar. Bu hilli gidrodwigateller üçin gidrosistemadaky basyş 10 MPa-dan uly bolmaly däl.



7.13-nji surat. Öwrülýän gidromotorlar: a-porşenli; b-perrikli; w-membranaly

Işçi enjamyñ hereketiniñ ugry suwuklygyñ gidrodwigateliñ haýsy tarapyna berilýänligine bagly.

Gidromotorlar

Işçi enjamy çäksiz aýlanma hereket edip bilýän gidrodwigatelle gidromotor diýilýär. Gidromotor konstruksiýasy boýunça şesternýaly, wintli, plastinaly, aksial-porşenli we radial-porşenli görnüşlere bölünýärler. Özünem ýokarda sanalyp geçilen gidromotorlary bir-azajyk çylşyrymly bolmadyk üýtgeşmeden soñ nasos hökmünde ulanyp bolýar. Başgaça aýdylanda şol bir gidromaşyny nasos hem-de gidromotor hökmünde ulanyp bolýar. Gidromaşynlaryñ bu görnüşleri "Göwrümleýin nasoslar" diýen bölümde beýan edildi.

Gidromotorlar sazlanýan we sazlanmaýan görnüşlere bölünýärler. Sazlanýan gidromotoryñ aýlaw sanyny onuñ işçi göwrümini üýtgetmek bilen üýtgedip bolýar. Bu tipli gidromotorlara aksial-we radial porşenli gidromaşynlar degişlidir.

Waly bir ugura aýlanýan gidromotorlara rewersirlenmeýän (aýlawyñ ugryny üýtgedip bolmaýan) gidromotorlar diýilýär. Walyñ aýlanýan ugruny üýtgedip bolýan gidromotorlara rewersirlenýän gidromotorlar diýilýär.

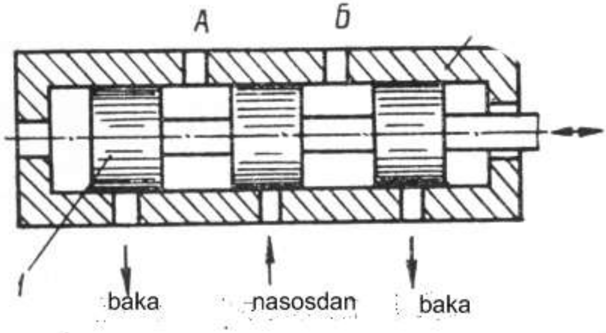
7.3. Gidroapparaturalar, kömekçi enjamlar we suwuklyk geçirijiler

Gidrodwigatelleriñ işçi enjamynyñ hereket edýän ugruny, tizligini üýtgetmek we gidrosistemada basyşy belli bir derejede saklamak üçin niýetlenen enjamlara gidroapparaturalar diýilýär. Gidroapparaturalar esasy üç topara, ýagny paýlaýyjylara, klapanlara we drossellere (sazlaýyjylara) bölünýärler.

Paýlaýjylar

Paýlaýyjylar gidrodwigateliñ işçi enjamynyñ ugruny üýtgetmek, ol bir gyra barandan soñ öz –özünden gidrodwigateli boş işleýän ýagdaýa geçirmek we ony berilen yagdaýda saklamak üçin ulanylýarlar. Işçi enjamyñ ugryny üýtgetmek üçin nasosdan gidrodwigatele gelýän suwuklygyñ ugry üýtgedilýär. Paýlaýyjydan geçende suwuklygyñ basyşy we akym mukdary üýtgänok.

Gurluşy boýunça paýlaýyjylar zolotnikli, klapany we kranly görnüşlere bölünýärler. Gidrohereketlendirijilerde esasanam zolotnikli paýlaýyjylar köp ulanylýar (7.14-nji surat).



7.14-nji surat. Zolotnikli paýlaýyjynyñ şekili

Zolotnikli paýlaýyjylaryñ tekiz ýa-da silindr görnüşli polatdan ýasalan zolotnigi bolýar. Paýlaýyjynyñ korpusy çoýundan ýasalýar.

Belli bir durýan ýeri boýunça paýlaýyjylar bir, iki we köp durýan ýerli toparlara bölünýärler. Dolandyryşy boýunça olar el bilen we awtomatlaryñ kömegi bilen dolandyrylýan görnüşlere bölünýärler.

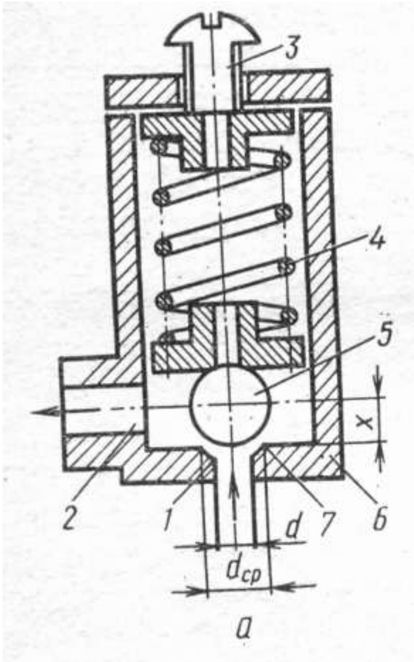
Klapanlar gidrohereketlendirijilerde basyşy belli bir derejede saklamak, zerurçylyk ýüze çykanda käbir şahalarda basyşy kiçeltmek we naporly suwuklyk geçirijide suwuklygy yzyna akdyrmaklyk üçin niýetlenilýärler. Olar goraýyjy, peseldiji (reduksirleýiji) we yza akdyrmaýan görnüşlere bölünýärler.

Gidrohereketlendirijide basyş belli bir berilen derejeden geçende goraýyjy klapan öz-özünden awtomatik ýagdaýda arylýar we işçi suwuklygy gidrobaka akdyrýar. Haçanda basyş berilen dereden peselende klapan ýapylýar. Goraýyjy klapanyñ duýgurlygyny, ýagny onuñ basyş närä baranda açylmalydygyny sazlap bolýar.

Goraýyjy klapanlar şarikli, zolotnikli we konusly görnüşlere bölünýärler.

Şarikli klapanlaryñ artykmaçlyklary (7.16-njy surat): gurluşy ýönekeý; şarigiñ oturýan ýerini uly takyklyk bilen ýasamaklygyñ zerurçylygy ýok; işçi suwuklygyñ arassalagyna edilýan talap uly däl. Şonuñ üçin bu klapanlar kiçi göwrümli, pes basyşly ($P \leq 10$ MPa) gidrohereketlendirijilerde giñden ulanylýar.

Köp açylyp-ýapylmagyñ netijesinde şarigiñ we onuñ oturýan ýeriniñ tiz hatardan çykmagy, şowhynlyrak işlemegi bolsa şarikli klapanlaryñ kemçilik tarapdyr.



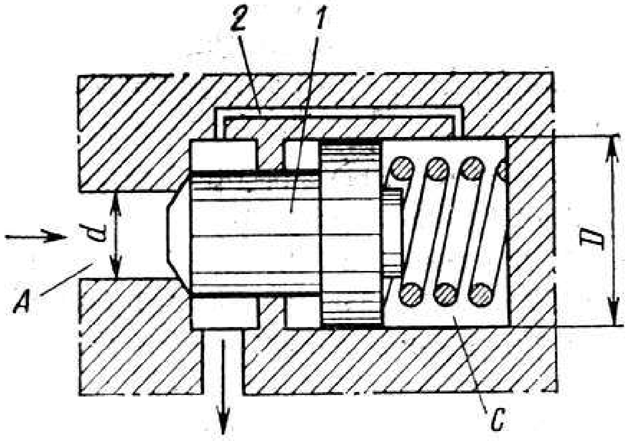
7.15-njy surat. Şarikli goraýyjy klapanyñ şekilli: 1-suwuklygyñ girýän deşik; 2-suwuklyk çykýan deşik; 3-sazlaýyjy wint; 4-pružina; 5-şarik; 6-korpus; 7-şarigiñ oturýan ýeri

Zolotnikli klapanlara agdyryjy klapanlar hem diýilýär. Bu tipli klapanlarda işçi suwuklygyñ az mukdary üznüksiz gidrobaka akdyryp durulýar. Haçanda gidrosistemada basyş çendenaşa ulalanda zolotnik açylýar we suwuklyk köpüräk mukdarda gidrobaka zyñylýar.

Konusly klapan şarikli klapana görä ygtybarly. Ýöne bu klapanlaryñ suwuklyk çykýan konus şekilli deşigini we ony ýapyjy elementi wagtal-wagtal ýylmap žebislendirmeli bolýar.

Peseldiji (reduksirleýyjy) klapanlar. Gidrodwigatelleriniñ işçi basyşlary dürli bolanda nasos iñ uly basyşa görä saýlanylýar, kiçi basyşda işleýän gidrodwigateliñ öñünde bolsa peseldiji klapan goýulýar. Onuñ kömegi bilen gidrohereketlendirijiniñ kiçi basyşda işleýän şahasyndaky basyş nasosyñ döredýän basyşyndan pes derejede saklanylýar.

Peseldiji klapanyñ girelge boşlugy “A” (7.17-nji surat) nasosdan gelýän uly basyşly suwuklykgeçiriji bilen birleşdirilýar. Peseldijiniñ içinde ýerleşen klapana üç güýç täsir edýär: çep tarapyndan nasosdan gelýän suwuklygyñ basyş güýji, sag tarapyndan bolsa “C” boşlykdaky suwuklygyñ basyş güýji hem-de pružiniñ täsir güýji.



7.16-nji surat. Peseldiji klapanyñ şekili: 1-klapan;
2-iki boşlugy birleşdirýän kanal

Ilki bada nasosdan gelýän suwuklygyñ basyş güýjiniñ täsiri esasynda peseldijiniñ klapany 1 açylýar we işçi suwuklyk kiçi basyşda işleýän gidrodwigatele we sag tarapdaky “C” boşluga tarap akyp başlaýar. Sag tarapdaky boşlukdaky basyşyñ ulalmagy bilen klapana täsir edýän basyş güýji ulalýar. Bu güýjiñ we pružiniñ täsiri esasynda klapan 1 çepe süýşýär, we suwuklyk geçýän deşigiñ meýdanyny kiçeltýär. Bu bolsa gidrawliki garşylyk döretmek bilen basyşyñ peselmegine getirýär.

Peseldilýän basyşyñ ulylygy peseldijidäki pružiniñ gatylygy bilen sazlanylýar.

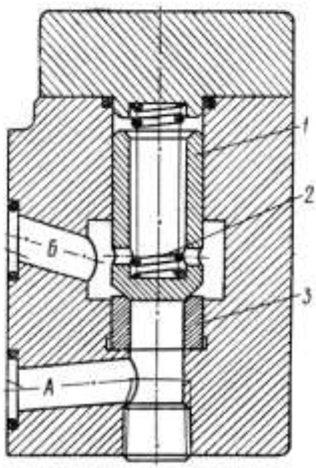
Senagat kärhanalary peseldiji (reduksirleýiji) klapanyñ KP tipini goýberýärler. Olar kinematiki şepbeşikligi $(10…50)\cdot10^{-6}$ m^2/sek aralykda, temperaturasy 50^0S uly bolmadyk mineral ýaglar üçin niýetlenendir. KP tipli reduksirleýiji klapanlaryñ tehniki häsiýetnamalary 7.3-nji tablisada görkezilýär.

7.3-nji tablisa. KP tipli klapanlaryñ häsiýetnamalary

Parametri	Paýlajynyñ belgisi				
	KP-12	KP-16	KP-20	KP-25	KP-32
Nominal akym mukdary, l/sek.	0,40	0,7	1,05	1,7	2,70
Basyşyñ sazlanylýan çägi, mPa	1,5-15 (15-150)				
Rugsat edilýän minimal basyş ýitgisi, mPa	1(10)				

Yza geçirmeýän klapanlar işçi suwuklygy diñe bir tarapa geçirmek üçin niýetlenýärler. Suwuklykgeçirijide akymyñ ugry üýtgese klapan öz-özünden ýapylýar. Bu bolsa nasosy hereketlendiriji maşyn duýdansyz öçäýende-de ýük göterip duran gidrosilindriñ stogynyñ garaşsyz ýagdaýda yza gaýdyp betbagtçylyga getirmeginden gorap saklaýar.

Häzirki wagtda Г51-2 belgili yza geçirmeýan klapan seriýalaýyn göýberilýär. Olar kinematiki şepbeşikligi $(10…60)\cdot10^{-6}$ m^2/sek, temperaturasy 50^0S-dan uly bolmadyk suwuklyklar üçin niýetlenen. Klapanlar 20 mPa çenli işlemäge ukyply. Klapanyñ shematik görnüşi 7.17-nji suratda görkezilendir, tehniki häsiýetnamasy bolsa 7.4-nji tablisada berilýär.



7.17-nji surat. Yza geçirmeýän klapanyñ şekili: 1-içki klapan; 2-pružina; 3-klapanyñ oturýan ýeri

Г51-2 tipli klapanyñ işleýiş prinsipi şundan ybarat. “A” deşikden girýän işçi suwuklygyñ basyş güýji pružinyñ güýjini ýeñip geçip içki klapany 1 ýokaryk galdyrýar. Şeýlelikde klapan açylýar we işçi suwuklyk bellenilen ugur boýunça hereket edýär. Haçanda suwuklygyñ ugry üýtgände ýokarky bölekde döreýän basyş güýji we pružina içki klapany ýapýar we suwuklygyñ yza akmagynyñ öñüni alýar.

5.4-nji tablisa. Г51-2 belgili yza akdyrmaýan klapanyñ tehniki häsiýetnamasy

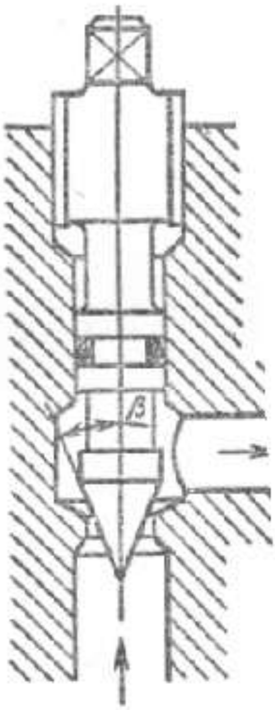
Parametri	Klapanyñ belgisi						
	Г51-21	Г51-22	Г51-23	Г51-24	Г51-25	Г51-26	Г51-27
Nominal akym mukdary, l/sek.	0,13	0,3	0,6	1,2	2,40	4,70	9,4
Nominal akym mukdardaky basyş ýitgisi, mPa	0,2 (2)-den köp däl						
Yza syzýan suwuklygyñ mukdary, l/sek	0,00008 çenli			0,00013 çenli			

Drosseler

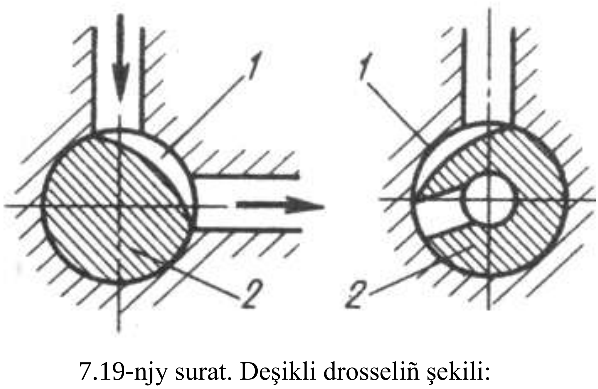
Sazlanylýan gidromotorlardan başga gidrodwigatelleriñ işçi enjamynyñ tizligi oña berilýän suwuklygyñ akym mukdary bilen üýtgedilýär. Sazlanýan gidromotorlarda walyñ aýlaw sanyny üýtgetmek üçin ýörite enjamlar bolýar.

Suwuklygyñ akym mukdary nasosyñ öndürijiligini üýtgetmek bilen (eger ol sazlanýan tipli bolsa) ýa-da drosseliñ kömegi bilen üýtgedilýär. Drossel bu ýerli gidrawliki garşylygyñ bir görnüşi. Onuñ garşylygy ulaldylanda gidrodwigatele barýan suwuklygyñ mukdary azalýar. Nasosdan gelýan suwuklygyñ galan bölegi bolsa goraýyjy klapandn geçip gidrobaka berilýär.

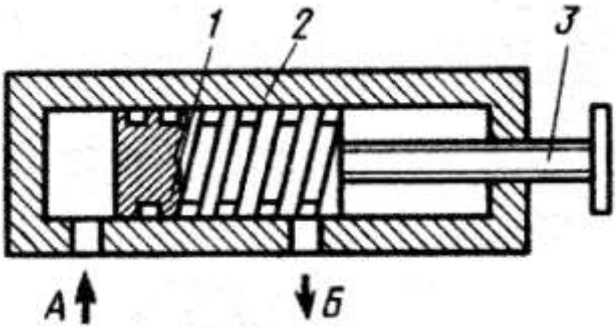
Konstruksiýasy boýunça drosseller iññelli, deşikli we oýjagazly görnüşlere bölünýarler (7.18-nji, 7.19-njy we 7.20-nji suratlar).



7.18-nji surat. Iññeli drosseliñ şekili



7.19-njy surat. Deşikli drosseliñ şekili:
1-deşik; 2-dyky



7.20-nji surat. Oýjagazly drosseliñ şekili: 1-wintli dyky; 2-korpus; 3-sazlaýyjy wint

Kömekçi enjamlar

Kömekçi enjamlar nasosy, gidrodwigateli we gidroapparaturalary özara birleşdirýän suwuklykgeçirijilerden, süzgüçden we gidrobakdan durýarlar.

Suwuklykgeçirijiler niýetlenişi boýunça sorujy, naporly we boşadyjy (gidrodwigatelden gidrobaka guýujy) toparlara bölünýärler. Sorujy suwuklykgeçiriji işçi suwuklygy gidrobakdan nasosa çenli geçirmek üçin ulanylýar. Naporly suwuklykgeçirijiler bilen nasosdan çykýan suwuklyk gidrodwigatellere berilýär we gidroapparaturalar öz ara birleşdirilýär. Boşadyjy suwuklykgeçiriji gidrodwigatelden çykýan işçi suwuklygy gidrobaka dökmek üçin ulanylýar.

Suwuklykgeçirijiler gidrohereketlendirijileriñ uly bölekleriniñ biridir. Mysal üçin TU-154 markaly uçarda suwuklykgeçirijileriñ uzynlygy 1500 metre barabar. Suwuklykgeçirijileriñ agramy takmynan gidrohereketlendirijiniñ agramynyñ 1/5 bölegine deñdir.

Suwuklykgeçirijiler uly basyşda işleýärler. Olar silkinmä, titiremä, käwagtam mehaniki urga sezewar bolýarlar. Şonuñ üçin olary berk we çeýe materialdan ýasalýarlar. Şol bir wagtda olar gerek ýerine eltmek üçin kese-kesiginiñ meýdanyny kiçelmezden egreldip bolýan bolmaly.

Gidrohereketlendirijilerde sepsiz polat turbalar (ГОСТ 8734-54) ulanylýarlar. Olar 20 nomerli polatdan (ГОСТ 1050-74) ýasalýar. Maşynyñ we mehanizmiñ hereket edýän (galyp-düşýän, çepe-saga öwrülýän) böleklerinde ýerleşdirilen gidrodwigateli, gidrosistema birleşdirmek üçin uly basyşa çydamly, çeýe rezin şlangalar ulanylýarler. Olar ýagyñ täsirine çydamly içki rezin gatlakdan, onuñ daşyna tor edip örülen sapakdan we inçe polat simden we daşky rezin gatlakdan ybarat. Işçi basyşyñ ulylygyna görä şlanganyñ daşyna örülen sapak we sim gatlaryñ sany 1…3 aralykda bolýar. Rezin şlangalar biri-biri bilen, gidroapparaturalar we demir turbalar bilen geýdirilip çekilýän gaýkalar arkaly birleşdirilýärler.

Suwuklykgeçirijiniñ diametrik şu formula bilen kesgitlenilýär:

$$\mathbf{d=(4Q/\pi\upsilon)^{0,5}}$$

Bu ýerde: **Q**-suwuklykgeçirijiden geçýän işçi suwuklygyñ mukdary; υ-işçi suwuklygyñ tizligi. Naporly suwukgeçiriji üçin υ=4,0…6,0 m/sek, boşadyjy suwukgeçiriji üçin υ=1,0…2,0 m/sek, sorujy turba üçin υ=1,0…1,5 m/sek aralykda alynýar.

Süzgüçler

Gidrohereketlendirijileri ynamly we ömürli işletmek üçin işçi suwuklygy mydama süzüp, arassalap durmaly. Sebäbi wagtyñ geçmegi bilen emele gelýän demir gyryndyklar, könelişen ýagda döreýän lödereler, maýyşgaklygyny ýitiren salniklerden gapýan kiçijik rezin bölejikler, howanyñ düzümindäki çañ-tozanlar işçi suwuklygy ýuwaş-ýuwaşdan hapalaýarlar.

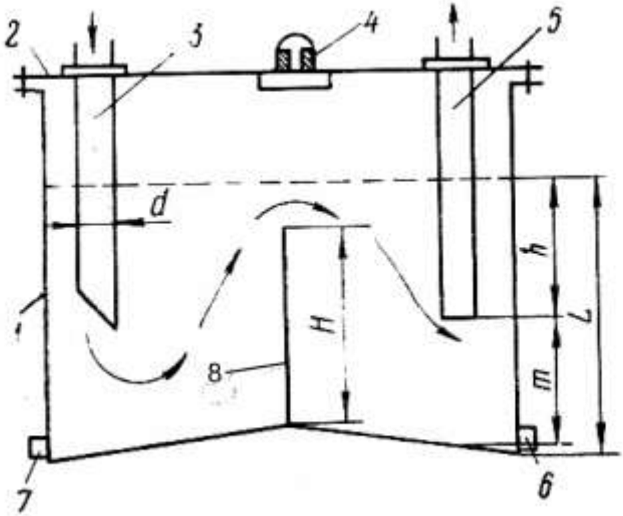
Ýol-gurluşyk maşynlarda işçi suwuklygy arassalamak üçin simly, setkaly (torly) we kagyzly süzgüçler ulanylýar.

Gidrobak

Gidrobak gidrohereketdirijidäki işçi suwuklygy saklamak, sowatmak we durlamak üçin niýetlenilýär. 7.21-nji suratda gidrohereketlendirijide giñden ulanylýan gidrobakyñ şekili görkezilýär. Gidrobak guýujy we sorujy turbalardan, agdyryjy germewden, suwuklygy guýmak we dökmek üçin gerek bolan patrubkalardan ybarat.

Işçi suwuklyk sorulyp alynanda gidrobakda wakuum döremezligi üçin gapakdaky dykyda howa süzgiji bilen enjamlaşdyrylan deşik edilýär.

Agdyryjy germew işçi suwuklygyñ gidrobakda bolýan wagtyny köpelmek üçin niýetlenilýär. Bu bolsa işçi suwuklygyñ sowamagyna we onda bar bolan gaty jisim bölejikleriniñ çokmegine ýardam edýär. Gidrobakyñ göwrümi nasosyñ 2…3 minutda sorýan suwuklygynyñ mukdaryndan kiçi bolmaly däl.



7.21-nji surat. Gidrobakyñ şekili: 1-korpus; 2-bakyñ gapagy; 3-guýujy turba; 4-suwuklyk guýulýan agyzyñ dykysy; 5-sorujy turba; 6;7-boşadyjy dyky; 8-germew

7.4. Gidrodinamiki hereketgeçirijiler

Gidrodinamiki hereketgeçirijiler bir korpusda, deñ derejede, ahyrky çäge çenli ýakyn ýerleşdirilen iki sany perrikli tigirden ybarat. Olaryñ biri nasos ýaly işläp korpusdaky suwuklygy herekete getirýar, beýlekisi bolsa turbina ýaly işläp aýlanýan suwuklygyñ kinetiki energiýasyny mehaniki energiýa öwürýär. Gidrodinamiki hereketgeçirijilerde hereketlendiriji maşynyñ energiýasy hereketlendirilýän maşyna suwuklygyñ üsti bilen geçirilýär. Olaryñ gidrohereketlendirijilerden aýratynlygy nasos bilen gidromotory birleşdirýän suwukgeçirijiniñ ýokdyndan ybarat. Başgaça aýdylanda nasosyñ we gidromotoryñ işçi tigirleri bir umumy korpusda ýerleşdirilýär.

Gidrodinamiki hereketgeçirijiler iki topara, ýagny gidromuftalara we gidrotransformatorlara bölünýärler. Gidromuftalar hereketlendiriji walyñ kuwwatyny hereketlendirilýän wala üýtgetmän geçirýar. Başgaça aýdanymyzda gidromuftada kuwwaty üýtgedip bolanok. Hereketlendiriji walyñ kuwwatyny hereketleniji wala üýtgedip geçirmeli bolanda gidrotransformatorlar ulanylýarlar.

Gidrotransformatorlaryñ gidromuftadan tapawudy olarda iki däl-de üç tigir bar. Üçünji tigir korpusa görä hereket edenok, oña reaktor diýilýär.

Hereketleniji walyñ döredýän momenti nola deñ bolanda, ýagny ol boş aýlananda onuñ aýlaw sany hereketlendiriji walyñ aýlaw sanyna deñ bolýar. Hereketleniji wala düşýän agram ulaldygyça onuñ aýlaw sany kiçelip başlaýar. Haçanda wala düşýän agram maksimal derejä ýetende wal aýlanmasyny goýýar, a hereketlendiri wal bolsa başlangyç tizlik bilen aýlanmasyny dowam edýär. Gidrodinamiki hereketgeçirijiler hereketlendiriji dwigatele köp zor salmakdan gorap saklaýarlar; hereketleniji mehanizmi haýallyk bilen, endigan herekete getirip bilýär. Gidrodinamiki hereketgeçirijiler awtomaşynlarda, traktorlarda dwigateliñ güýjini tigirlere geçirmek üçin giñden ulanylýarlar.

Edebiýatlar

1. Türkmenistanyň Konstitusiýasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş 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. Şaripow H.N. Gidrawlikadan umumy we tejribe okuw gollanmasy. Aşgabat şäher, TPI 2000.
11. Константинов Ю.М., Гидравлика. 1988.
12. Примеры расчётов по гидравлика. Учебное пособие для вузов. А.Д.Альтщуль, В.И.Калисун ред. А.Д. Альтщуль-М 1976.
13. Л.А.Цыбин, И.Ф.Шанаев. Гидравлика и насосы., М-1986.
14. А.Д.Альтщуль, Животовский С.Л., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика., М-1987.

15. Агроскин И.И. Задачи по гидравлика., М-1984.
16. Башта Т.М. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. М., Машиностроение, 1982.
17. Васильев Б.А., Грецов Н.А. Гидравлические машины. М.,Агропромиздат, 1988.
18. Вильнер Я.М. и др. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Минск, Вышэйш. школа, 1976.

MAZMUNY