TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRLIGI

M.Aşyrbaýew, H.Şaripow, P.Ataýew,
H.Geldiýew, E. Garryýew, A.Alçekow

GIDRAWLIKA WE GIDROMETRIÝA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat- 2014

Giriş

Halkara nebit we gaz uniwersitetiniň “Nebit we gazyň saklanýan ýerlerni, geçiriji turbalaryny taslamak, gurnamak we ulanmak” , “Ýylylyk, gaz üpjünçiligi we howa çalşygy”, “Önümçiligi we tehnologik prosesleri awtomatlaşdyrmak” hünärlerinde gidrawlika dersi öwrenilýär. 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 gidrawlika dersine esasy tehniki bilim dersi hökmünde seredilýär.

Halkara nebit we gaz uniwersitetinde köp ýyllaryň dowamynda toplanan okuw işlerniň tejribesine esaslanyp “Gidrawlika we gidrometriýa” atly okuw kitaby taýýarlanyldy. Bu kitap Halkara nebit we gaz uniwersitetiniň talyplary üçin niýetlenilýär. Belli derejede kitaby taslamaçy, gurnaýjy we ulanyjy hünärmenler gollanma hököminde ulanyp bilerler.

I BAP.
SUWUKLYKLARYŇ WE GAZLARYŇ ESASY FIZIKI HÄSIÝETLERI

1.1. Gidrawlikanyň mazmuny we häzirki zaman meseleleri

Gidrawlika näme? Gidrawlika suwuklyklaryň we gazlaryň deňagramlyk hem-de olaryň hereket kanunlaryny öwrenýän ylymdyr.Ol bu kanunlaryň kömegi bilen adamlaryň durmuşynda duş gelýän tehniki meseleleri çözmekligi öwredýär.Häzirki döwürde gidrawlika ylmynyň käbir bölümleri özbaşdak ylym hökmünde öwrenilýär: ,,Tehniki gidromehanika“, „ Amaly gidromehanika“, „ Suwuklyklaryň we gazlaryň mehanikasy“.

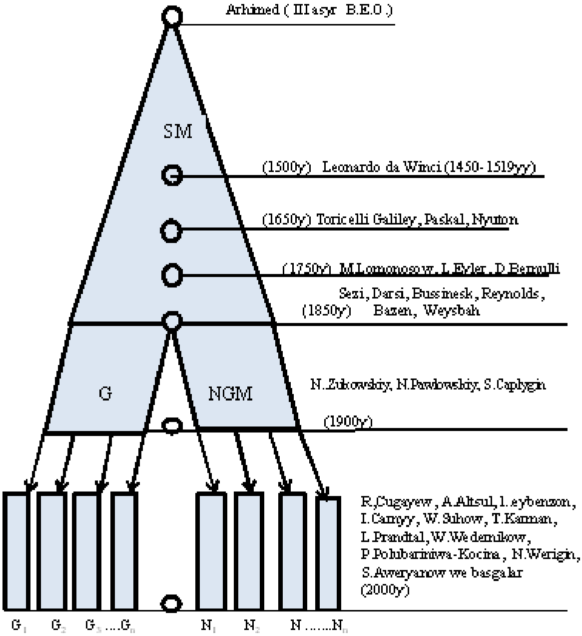
„Gidrawlika“ sözi grek sözi bolup ol „hýudor “ (suw) hem-de „aulos“ (turba) sözlerden alynypdyr we türkmençe ,,suwturba” manyny berýär. XIX asyrda kanallary we akdyryjy turbalary gurmak bilen baglanyşykly amaly meseleler bilen meşgullanýan gidromehanika ylmy döräpdir.XX asyrda senagatyň, tehnikanyň we oba hojalygnyň ösmegi bilen „Ýer asty gidrawlika“, „Amaly gazodinamika“, “Aerodinamika” ýaly täze ylmy ugurlar döredi.

Gidrawlika esasan gidrostatika we gidrodinamika bölümden durýar. Gidrostatika asuda halda suwuklyklaryň we gazlaryň deňagramlyk kanunlaryny öwrenýär.

Gidrodinamikada bolsa nazary we amaly nukdaý nazarlardan suwuklyklaryň we gazlaryň hereket kanunlary öwrenilýär.

1.2. Gidrawlika ylmynyň taryhy

Gidrawlika ylmynyň ösüş ýoluny üç döwre bölüp bolar. Birinji döwür – Grek fizigi Arhimediň (287-212-nji ýyllar, biziň eýýamyzdan öň) “Ýüzýän jisimler hakdaky” traktatyndan başlap tä Russiýada ylymlar akademiýasynyň döredilen wagtyna (1724-nji ýyl) çenli aralygy öz içine alýar.



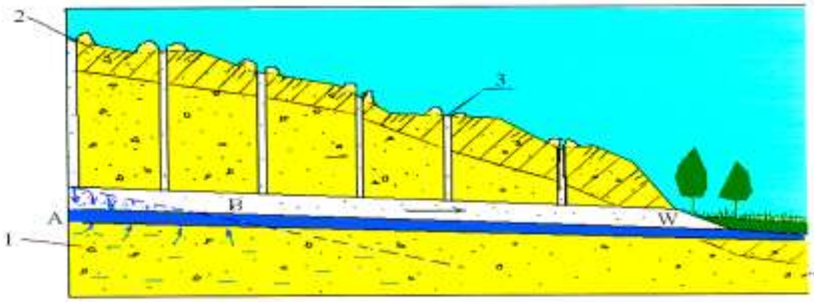
Gidrawlikanyn taryhy osusinin cyzgydaky beyany. SM-Suwukluklaryn mehanikasy, NGM-Nazary gidromehanika; G- Gidrawlika ya-da tehniki gidromehanika; G_1, G_2,G_3 ....G_n – Gidrawlikanyn ayra pudaklara degisli ugurlary. Nebit we gaz; gidrotehniki desgalar; gidroenergetika; gami gurlusygy, meliorasiya; yerasty gidrawlika; gidrawliki masynlar we basga ugurlar. N_1, N_2, N ...N_n – Nazary gidromehanikanyn ayra pudaklara degisli ugurlary.

1.2-nji surat.

Gadymy döwürlerden başlap adamzat suwy akdyrmak, ýerleri suwarmak, umuman suw hadysasyny erketmek maksady bilen köpgörnüşli desgalary gurupdyr. Hytaýda, Müsürde, Hindistanda 8 müň ýyl mundan ozal adamlaryň ekerançylyk bilen meşgul bolandygy hakynda maglumatlar bar. Suwarymly ekerançylygyň ýaýramagy we ösmegi suw hojalyk desgalaryň döremegine we olaryň kämilleşmegine getirdi, oňa taryhy arheologiýa ýadygärlikleri we gadymy ýazgylar şaýatlyk edýär. Derýanyň suwuny sazlamak üçin niýetlenen iň gadymy suw hojalyk desgalary, ol hem bentlerdir. Häzirki Demirgazyk Ýemeniň çäklerinde biziň eýýamymyzdan VII asyr öň gurulan bent 1400 ýyllap durupdyr we ýagyş suwlaryny ýygnap suwaryş üçin ulanylypdyr. Gadymylygy boýunça Müsüriň irrigasiýa çeperçiligini we gidrotehniki gurluşygyny belläp bolar. Biziň eýýamymyzdan VI asyr öň Hytaýyň bar derýalarynyň aýakujuny birikdirýän "Beýik" suwaryş akabasy gurulan.

Biziň eýýamymyzdan öňki müň ýyllyk gidrotehniki we suw gurluşyk çeperçiligiň gülläp ösen döwrüne degişlidir. Şol döwür ýerasty suwlaryny ulanmak üçin niýetlenen çylşyrymly suw hojalyk desgalary döredilýär we gurulýan ýerine baglylykda olaryň birnäçe ady bolan: käriz, hanat, sinnor. Käriziň gurluşynyň çyzgydaky beýany 1.3-nji suratda görkezilen.

Gurulan kärizler häzirki wagtda hem dünýäniň dürli künjeginde duş gelýär: Ermenistanda, Demirgazyk Afrikada, Eýranda, Türkmenistanda. Kärizleriň suw üpjünçilik meselesinde uly ähmiýeti bolupdyr, esasanam, uruş döwürleri, gala goraglarynda. Kärizler köp asyrlaryň dowamynda gulluk edip, häzirki döwürde-de, özüniň gymmatyny ýitirenok.



1.3-nji surat. Käriziň gurluşynyň çyzgydaky beýany: 1- suwly gatlak; 2- suw geçirijiligi pes bolan gatlaklar; 3-dik guýular (dikanalar); A-B-suwy çykarýan akaba (ötük); B-W- suwy ýygnaýan kese akabasy.

Türkmenistanda kärizleriň birnäçesine Ahal welaýatynda,Köpetdagyň eteklerinde duş gelmek bolýar, olaryň süýji suwy agyz suwy hökmünde we uly bolmadyk ekin meýdanlaryny suwarmakda peýdalanylýar.

1.4-nji surat. “Şaduf” bilen baglaryň suwarylyşy. Müsür, XIX dinastiýa, Fiwandaky Inuinyň mazaryndaky surat.

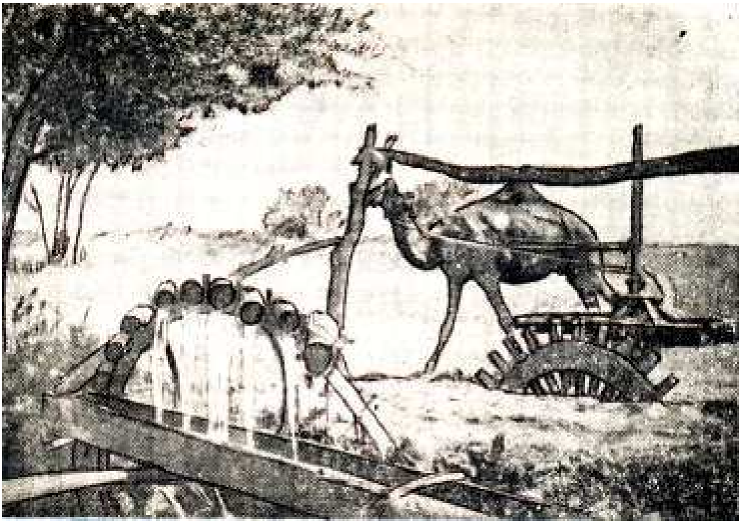
Biziň eýýamymyzdan VII asyr mundan öň suwuň energiýasy ulanylyp başlandy: suwuň energiýasy bilen işleýän degirmenler, suwygaldyryjy “Şaduf” guraly, tekerleri, Arhimediň winti ýaly gurallar we başgalar (1.4-1.5 nji sur).

Ilkinji şaher suw üpjünçilik ulgamy biziň eýýamymyzdan 313 ýyl mundan ozal Rimde gurlupdyr. 9 sany suw üpjünçilik ulgamlary gije-gündiziň dowamynda adam başyna 88 bedre (700 L) suw berýärdi. Rimlileriň suw hojalyk desgalaryň gurluşygyndaky uly üstünlikleri olaryň betony oýlap tapandyklaryna baglydyr.

Şol döwürde biziň eýýamymyzdan I asyr mundan öň ýaşan Rim inženeriniň Mark Witruwiý Pollionyň suw hojalyk desgalary hakynda “Arhitektura barada 10 kitap” diýen golýazmalarynyň ähmiýeti uludyr. Ol kitapda gidrologiýa, gidrawlika we gidrotehnika barada tehniki ensiklopediýasyna degişli giňişleýin maglumatlar bar.

Türkmenistanyň häzirki çäklerinde ýerleşýän we biziň eýýamymyzdan öň II-nji, III-nji müň ýyllyklarynda emele gelen Murgap derýasynyň köne hanasynyň aýagyndaky gadymy gündogar Marguş şalygynda gazuw- agtaryş işleri geçirilip, wajyp taryhy maglumatlar aýan edildi. Çünki köpsanly günbatar alymlary Mesopotamiýa, Müsür, Hindistan we Çyn-Maçyn bilen bir hatarda, Margiýanany köne dünýäniň gadymy medeniýetiniň bäşinji ojagy diýip ykrar etdi. W.I.Sarianidiniň yolbaşçylygynda geçirilen gazuw-agtaryş we ylmy-barlag işleriň netijesinde, Margiýananyň merkezi şäheri bolan Goňurdepede keramiki turbalaryndan bir-birine birikdirilip, gurulan suw üpjünçilik hem-de kanalizasiýa ulgamlarynyň bolandygy mälim edildi.

IX-XI asyrlaryň Arap geograflary we taryhçylary Gardiziniň, Ibn Haýkalyň, Istahriniň, Makdisiniň, Ýakubyň işlerinde Horasanyň suwaryş ulgamlary hakynda baý maglumatlar berilýär. Şol golýazmalardaky maglumatlar we häzirki wagtda gadymy gidrotehniki desgalaryň harabalarynyň, suwaryş ulgamlarynyň guran we gömülen akabalarynyň arheologiki tapyndylary, ösen suwaryş medeniýetiniň bolandygyna şaýatlyk edýär. XI asyryň Horezmli alymy-ensiklopedisti Abu Reýhan al-Biruniniň şaýatlyk etmegine görä, bu ýerde emeli suwaryş ulgamlary araplaryň gelmezinden has öň döräpdir.X asyryň alymy Abu Abdallah Horezmi özüniň kitabynda Merw ülkesiniň suwaryş ulgamlarynda gidrotehniki desgalaryň arhitekturasyna we olaryň gurluşygynda ulanylan materiallara degişli maglumatlary “Ylmyň açarlary” (Mafatik al-Ylum) diýen bölüminde ýerleşdiripdir.



Jykyr

1.5-nji surat. Suw goteriji Jykyr we Aýak nowasy

Etrek derýasynyň “Meşhed-i-Misseriýan”, Tejen derýasynyň “Saragt”, Zerewşan derýasynda “Dargom”, “Abbas” ýaly suwaryş ulgamlary Amy we Syrderýalaryň suwaryş ulgamlary, suw hojalyk desgalary (akweduklar, köprüler, suw paýlaýjy desgalar, bentler) Orta Aziýada 1000 ýyl mundan öň gidrotehniki sungatynyň ösendigine we suw baýlyklarynyň giňden peýdalanylandygyna şaýatlyk edýär.

Şu ýokarda agzalan gidrotehniki desgalary gurmak üçin hem gidrawlikanyň kanunlary gerek bolupdyr.

(1452-1519 ýý.) “Suwuň akyşy we ölçelşi” diýen işi taýýarlaýar, emma ol iş XX asyryň başynda, ýagny Leonardo da Winçi ölenden 400 ýyldan gowrak wagt geçenden soň çapdan çykýar.Iňlis alymy S.Stewiň 1586-njy ýylda “Gidrostatikanyň başlangyjy” diýen işini ýazýar.Italýan alymy Galileo Galileý 1612-nji ýylda “Suwda bolýan hem-de onda hereket edýän jisimler barada oýlanmalar” işi çapdan çykdy.Ýe.Torriçelli 1643-nji ýylda suwuklyklaryň deşikden akyp çykyş kanunyny açýar.Fransuz fizigi B.Paskal 1650-nji ýylda suwuklyklarda basyşy geçirmek baradaky kanuny oýlap tapýar.Genial iňlisalymy Nýuton (1642-1724 ý.ý.) suwuklyklarda içki sürtülme kanuny beýan edýär. Şol kanunyň esasynda orta asyrlarda birnäçe ýönekeý gidrawliki maşynlar döredildi. Şeýlelikde birinji döwürde, gidrostatikanyň esasy kanunlary döredilipdir, ýagny dynçlykda duran suwuklyklaryň denagramlylyk şertleri hem-de gidrawlikanyň kanunlaryny öwrenmekde duş gelýän käbir meseleler ýüze çykarylýar.Birinji tapgyrda gidrawlikanyň esasy kanunlary işlenip düzülende ýöneleý usullar ulanylan hem bolsa, ol kanunlar şeýle bir ýokary takyklykda dogry düzülipdir, ýagny biziň günlerimize çenli hiç-hili üýtgeşmeler girizilmändir. Ýokarda agzalan geçilen açyşlar we kanunlar gidrawlika ylmynyň belli bir aýratyn gidrostatika bölümlerine degişli bolup durýar.

Gidrawlika ylmynyň ösüş ýolunyň ikinji tapgyry Peterburg akademiýasy döredilenden soňra başardypdyrwe 1724- 1921-nji ýyllar aralygy öz içine alýar.XVIII asyrda genial rus alymlary M. Lomonosow (1771-1765ý.ý. Massanyň we energiýanyň üýtgemezlik 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 (ideal) suwuklygyň elementar akymy üçin basyşyň we tizligiň arabaglanşygny kesgitleýän teoremany we deňlemäni ýazyp beýan etdi. Bu deňleme soňky döwürlerde Bernulliniň deňlemesi diýip atlandyryldy hem-de gidrawlikanyň esasy deňlemesi hökmünde kabul edildi. Suwuklyk we gaz akymlaryň hasaplamalary bilen bagly bolan meseleleriň çözgütleri köp babatda Bernulliniň deňlemesine esaslanýarlar.

M.W.Lomonosow, D.Bernulli, L.Eýler we başgalar şol döwürde özleriniň nazary işlerinden başga-da, şol döwre degişli bolan ýönekeý gidrawliki ölçeg esbaplaryny we gurallaryny döredipdirler.M.W.Lomonosow uniwersal barometri, deňizde suwuň hereketini öwrenmek üçin ölçeg guralyny döredipdir.D.Bernulli suwy ýokaryk çykarýan gural, L.Eýler suw turbinalarynyň konstruksiýasyny, gämi nazarýetiniň esasyny döretdi.

Birinji gidrawliki tejribehana 1762-nji ýylda Italýan alymy Migoletti tarpyndan döredilýär. Fransuz inženeri Şezi 1755-nji ýylda suwuklygyň deňölçegli hereketiniň esasy formulasyny teklip etdi (kanallarda we turbageçirijilerde suwuň hereketini kesgitlemek üçin ulanylýar).D.I.Mendeleýew 1880-nji ýylda özüniň “Suwuklyklaryň garşylyklary hakda we howada uçuş” diýen işinde örän täsin maglumaty, ýagny suwuklyklaryň hereketinde iki hili düzgüniň (laminar hem-de turbulent) bardygyny mälim etdi.

Iňlis alymy Reýnolds 1883-nji ýylda tejribe esasynda Mendeleýewiň aýdanlaryny tassyklady, ýagny tebigatda suwuklyklaryň hereketinde iki hilli düzgüniň (laminar hem-de turbulent) bardygyny anyklady hem-de Reýnolds eksperimenti ýörite ýasalan enjamda geçirdi. Onuň enjamy şu günler hem suwuklyklaryň düzgünini öwrenmekde ginden ulanylýar.

Pariž şäheriniň suw geçirijisiniň baş inženeri Darsi (1856-1857ýý.) suwuklyklaryň suw geçiriji turbalaryndaky hem-de toprakdaky hereketini öwrendi. Geçirilen synagyň esasynda suwuklyklaryň hereketini hasaplaýan ýörite formula düzdi.

N.Ýe.Žukowskiý görnükli alym bolmak bilen birlikde gidro-aerodinamika öz goşandyny goşmak bilen çäklenmän, eýsem ol gidrawlikanyň beýleki bölümlerine hem has uly goşant goşan adam. N.Ýe.Žukowskiý kanallarda süzme nazarýetiniň esasyny tutan, kanallarda suw bilen gyrmançanyň akmagyny öwrenen, suwukluk geçiriji turbalarynda gidrawliki urgyny kesgitleýän formulany döreden adam.

Gidrawlika ylmynda üçünji tapgyry 1921-nji ýyldan başlanýar. Şol döwürde uly gidroenergetiki gurluşyklary, suwaryş ulgamlaryň gurluşyklary hem-de gämi gatnaw kanallaryny gurmak, maşyn gurluşygyny, ölçeg enjamlarynyň gurluşygyny ösdürmek işleri uly depgin bilen baglandy. Şu işleri üstünlikli ýerine ýetirmek üçin hem gidrawlika ylmyny hem çalt depginde ösdi.

Gidrawlika ylmynyň ösdürmekde Sowet alymlarynyň goşan goşandy örän uludyr. Olardan: N.I.Pawlowskiý, I.I.Agroskin, A.I.Bogomolow, M.A.Welikanow, Ýe.A.Zamarin, I.I.Lewi, M.D.Çertousow, R.R.Çugaýew, A.A.Ugunçus, M.S.Wyzgo hem-de başgalary görkezmek bolar. Häzirki wagtda gidrawliki barlaglar birnäçe ylmy-barlag institutlarynda, ýokary okuw jaýlarynda geçirilýär.

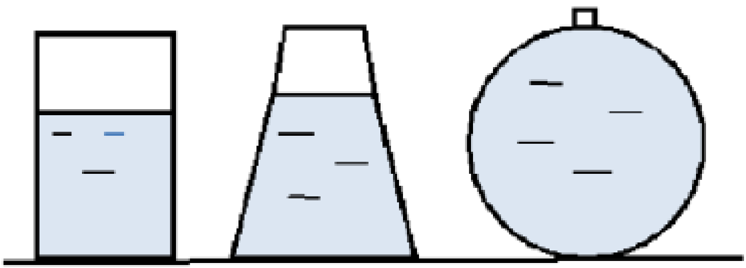
S.A.Çaplygin (1869-1942 ý.ý.) häzirki zaman gazodinamika ylmyny esaslandyryjy hem-de nazary gidroaeromehanikanyň soňky döwirlerdäki ösüşini üpjün eden alym hökümünde özini tanatdy.

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 akabalaryň, süzülme akymlarynyň, kiçi we iri gidrotehniki desgalaryň köp görnüşli çylşyrymly gidrawliki meseleleriniň amaly we nazary çözgütlerini, galybersede, köp ýyllaryň dowamynda öz çözgüdüne garaşan turbulentigiň ýarym empriki nazaryýetini döretdiler. Bu we beýleki köp sanly we köp ugurly ylmy-tehniki çözgütler, şu döwürde adamzadyň emeli derýalary we kölleri döretmeklige, ummasyz suw we howa giňişliklerini özleşdirmäge, iň amatly we gaýtadan döräp bilýän suw we howa akymlaryň energiýasyny ulanmaklyga, suwy, howany, gazy we nebiti gaýtadan işlemeklige we olary rejeli ulanmaklyga mümkinçilik döretdi.

1.3. Suwuklyklaryň fiziki häsiýetnamalary

Suwuklyklar barada umumy düşünjeler

Suwukluk iň az guýjiň täsirinde özýniň şekilini üýtgedýän fiziki jisimdir. Gaty jisimlerden tapawutlukda suwukluk bölejikleriniň bir-birine görä uly süşmek ukybynyň barlygy netijesinde olar guýulýan gabyň şekilini alýar (1.6-njy surat).



1.6-njy surat. Suwukluk guýulýan gabyň şekilinde.

Suwukluklarda kiçi temperaturada gaty jisimiň häsiýetleri we uly temperaturada gaz jisimlerine ýakyn häsiýetleri bolýar. Gaty fazanyň we gaz fazasynyň aralygyunda bolan fiziki jisime suwukluk diýilýär. Suwukluk molekulalarynyň aralyklary 10^{-7} - 10^{-8} sm töweregidir. Gidrawlikanyň hasaplamalarynda garalýan suwukluk göwrumleri we ölçegleri suwukluk molekulalaryň ölçeglerine görä örän uludyr. Şol sebäpli suwukluklar we gazlar gidrawlikada üznüksiz jisim hökmünde garalyp olaryň massasy göwrüm boýunça üznüksiz deňagramda ýerleşen diýip hasap edilýär. Bu garaýyş hakyky suwuklugy ýönekeýleşdirýär we matematikada ulanylýan üznüksiz funksiýalaryň nazaryýetini ulanmak mümkinçiligini berýär.

Gidrawlikada 2 görnüşli suwukluk düşünjesi ulanylýar we peýdalanylýar: hyýaly (ideal) we hakyky (real) suwukluklar düşünjeleri. Ideal suwuk basyşyň we temperaturanyň täsirinde göwrümini üýtgetmeýän hem-de içki sürtülme alamatlary, şeppeşikligi bolmadyk hyýaly suwuklukdyr. Ideal suwukluk hakykatda ýokdyr ol duzulýän deňlemeleri we nazary derňewleri ýonekeýleşdirmek maksady bilen alynýar. Hakyky suwuklukda basyşyň we temperaturanyň tasirinde giňelme, gysylma we şeppeşikligiň üýtgeme alamatlarynyň bardygyny bellemeli.

Tebigatda duş gelýän we tehnikada ulanylýan suwuklklaryň ýagdaýy we dürli gidrawliki hadysalarda özüni alyp baryşy olaryň fiziki häsiýetnamalaryna baglydyr. Şol sebäpli gidrawlika dersini öwrenmekden öň suwuklklaryň fiziki hasiýetnamalaryny we olaryň ölçeg birliklerini bilmek zerurdyr.

Gidrawlikada ulanylýan ölçeg birlikleri

Suwukluklaryň fiziki hasiýetnamalaryny umumy fizika öwrenýär. Gidrawlikada suwukluklaryň fiziki hasiýetnamalarynyň san mukdarlary ulanylýar. Suwukluga degişli fiziki ululyklaryň ölçeg birlikleriniň 3 sany esasy görnüşleriniň bardygyny bellemeli: fiziki; tehniki we halkara ölçeg birlikleri. Gidrawlikada adaty halkara (SI) ölçeg birlikleri ulanylýar. Halkara ölçeg birliklerinde bir-birine bagly bolmadyk 3 sany esasy birlikler alnan: uzynlyk – metrde, wagt – sekundada, massa – kilogramda. Galan ölçeg birlikleri şol esasy ölçeg birliklerinden çykarylýar.Suwukluklaryň dürli fiziki häsiýetnamalarynyň ölçeg birlikleriniň ady, belgisi we ölçeg birligi (razmernosti) bolýar (1-nji tablisa).

1-nji tablisa

Suwukluklaryň dürli fiziki häsiýetnamalarynyň Halkara ölçeg birlikleri

Fiziki häsiýetnamalaryň ady we bellenilişi	Ölçeg birligiň ady	Ölçeg birliginiň bellenilişi	Ölçeg belgileri (razmernosti)
Uzynlyk (L,ℓ)	metr	*m*	*L*
Wagt (T,t)	sekunda	*s*	*T*
Massa (M,m)	kilogram	*kg*	*M*
Meýdan (S,ω)	metr kwadratda	m^2	L^2
Göwrüm (V, W)	metr kubda	m^3	L^3
Tizlik (υ, u)	metr sekundada	*m/s*	LT^{-1}
Tizlenme (*a, g*)	metr sekunda kwadratda	m/s^2	LT^{-2}
Güýç (F,R)	nýuton	*N*	LMT^{-2}
Agram (G)	nýuton	*N*	LMT^{-2}
Basyş, dartylma (*p, σ*)	paskal	*Pa*	$L^{-1}MT^{-2}$
Basyş napory (H,h)	metr	*m*	*L*
Akymyň göwrüm mukdary (Q,q)	metr kub sekundada	m^3/s	L^3T^{-1}
Akymyň massa mukdary (Q_m)	kilogram sekundada	*kg/s*	MT^{-1}
Dykyzlyk (*ρ*)	kilogram metr kubda	kg/m^3	ML^{-3}
Göwrüm (udel) agramy (γ)	nýuton metr kubda	N/m^3	$ML^{-2}T^{-2}$
Kuwwat (N)	watt	*Wt*	ML^2T^{-3}
Iş, energiýa (I, A)	džoul	*Dž*	ML^2T^{-2}
Dinamiki şeppeşiklik (μ)	paskal köpeltmek sekunda	*Pa.s*	$ML^{-1}T^{-1}$
Kinimatiki şeppeşiklik (*ν*)	metr kwadrat sekundada	m^2/s	L^2T^{-1}
Maýşaklyk moduly (K_p)	paskal	*Pa*	$L^{-1}MT^{-2}$

Güýjiň ölçeg birliginiň dinamikanyň esasy deňlemesinden gelip çykýşyna seredeliň:

$$F = M\,a,$$

bu ýerde: F –guýç, N; M – massa, kg; *a*– tizlenme, m/s^2;onda,

$$[F] = [M] [L] / [T^2] = [M] [L] [T^{-2}]$$

Halkara ölçeg birliginde 1kg massa 1 m/s^2 tizlenme berýän güýje nýuton*(N)*diýilýär:

$$N = kg\ m / s^2$$

Fiziki ölçeg birliginde 1 gr massa 1 sm/s^2 tizlenme berýän güýje dina diýilýär:

$$1dina = gr\ sm/ s^2$$

Gidrawlikada hemme hasaplamalar Halkara ölçeg birliklerinde ýerine ýetirilýär. Fiziki, tehniki we halkara ölçeg birlikleriniň arabaglanşygy geçiş koeffisiýentleriniň üsti bilen fizika we gidrawlika okuw kitaplarynda tablisa görnüşinde berilýär.

Suwuklyklaryň fiziki häsiýetnamalary

Dykyzlyk: Suwuklyklaryň dykyzlygy(ρ) diýilip, olaryň göwrüm birliginiň (V) massasyna (M) aýdylýar we aňlatma bilen kesgitlenýär.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad ,kg/m^3 \qquad (1.2)$$

Suwuklyklaryň we gazlaryň dykyzlygy temperatura we basyşa baglydyr.Adaty düzgünde suwuklyklar gyzdyrylanda göwrümi ulalýar dykyzlygam kiçilýär.Adaty düzgünden üýtgeşiklik ýagdaý diňe suwda 0 -dan4^0C aralykda bolup geçýändigini bellemeli.Suw iň ýokary 1000 kg/m^3dykyzlygyna +4^0C temperaturada eýe bolýar. Dürli suwukluklaryň dykyzlyklary belli bir temperatura üçin gidrawlikanyň okuw kitaplarynda berilýär (1.1-nji tablisa). Adaty temperaturada we basyşda suwuklugyň dykyzlygy örän az mukdarda üýtgeýäni sebäpligidrawlikanyň gidrodinamika bölüminiň hasaplamalarynda dykyzlyklar hemişelik san görnüşinde alynýär: suw üçin - 1000 kg/m^3; dürli nebitler üçin – 760 - 900kg/m^3; dürli benziner üçin – 680 - 780kg/m^3 we ş.m.

Göwrüm (udel) agramy:Suwuklyklaryň göwrüm (udel) agramy *(γ)* diýlip, olaryň göwrüm (V)birliginiň agramyna (G)aýdylýar we aňlatma bilen kesgitlenýär:

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

Suwuklyklaryň göwrüm (udel) agramy temperatura we basyşa baglydyr. Suwuň göwrüm agramynyň maksimal ululygyna +3,98 ^0C temperaturada eýe bolýar.

Suwuklygyň agramyny (G) onuň massasynyň (M) üsti bilen aňladyp bolar:

$$G=M \cdot g$$

Bu ýerde: g - erkin gaçmanyň tizlenmesi, m/s^2

Suwuklugyň dykyzlygywe göwrüm agramy özara hemişelik baglanyşykdadyrlar:

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

Soňky aňlatmadan dykyzlyk:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \qquad (1.4)$$

Käbir suwuklyklaryň we gazlaryň göwrüm agramy we dykyzlygy 1.1-nji tablisada getirilýär.

1.1-nji tablisa

Suwuklyklaryň we gazlaryň göwrüm agramy we dykyzlygy(t=+20^0C we P=$10^5 Pa$)

Suwuklyklar we gazlar	Göwrüm agramy $\gamma, \frac{N}{m^3}$	Dykyzlyk $\rho, \frac{kg}{m^3}$

Arassa tebigy suw	9890	998
Deňiz suwylary	10010-10090	1002-1029
Dizel ýangyçlary	8150-8450	831-861
Kerosinler	7770-8240	792-840
Awtomobil benzinleri	6990-7470	712-761
Ilkinji arassalanan nebitler	8340-9320	850-950
Uçar benzinleri	1250-7370	739-751
Gliserin	12260	1250
Kastor ýagy	9520	970
Mineral ýaglar	8000-8750	877-892
Etil spirti	7740	789
Kompressor ýaglary	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

Suwuklyklaryň dykyzlygynywe göwrüm agramyny kesgitlemek üçin dürli usullar we gurallar ulanylýar.Suwuklyklaryň dykyzlygyny kesgitlemegiň ýönekeý usuly ol hem onyň göwrümini we massasyny takyk analitiki terezide ölçemekdir. Ölçegler geçirilenden soň dykyzlygy aňlatma bilen hasaplap bolar:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M1-M2}{V}; \qquad \gamma = \rho g$$

Bu ýerde:M_1 –boş gabyň massasy, *kg*;M_2 - suwuklykly gabyň massasy, *kg*;

M – suwuklugyň massasy, *kg*; V – gapdaky suwuklugyň göwrümi, m^3. Önümçilikde suwuklugyň dykyzlygy ölçemek üçin areometr guraly ulanylýar.

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

$$\alpha_t = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} \ ; \ {}^{\circ}C^{-1} \tag{1.5}$$

Bu ýerde:

α_t - temperaturagiňelme koeffisiýenti, ${}^{\circ}C^{-1}$;

Vo-suwuklygyň başky temperaturadaky göwrümi, m^3;

Δt – temperaturanyň üýtgän ululygy,C^0

ΔV - üýtgän göwrüm, m^3.

Suwuklygyň temperatura giňelme koeffisiýentiniň kömegi bilen onuň göwrüm agramyny (γ) we dykyzlygyny (ρ) islendik temperaturada takyk hasaplap bolýandyr:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_0}{1+\alpha_t \Delta t}; \tag{1.6}$$

$$\rho_t = \frac{\rho_0}{1+\alpha_t \cdot \Delta t} \tag{1.7}$$

Soňky aňlatmalardaγ_0 weρ_0-adaty şertlerdäki göwrüm agramy we dykyzlyk, Δt-üýtgän temperatura, $\Delta t = t_2 - t_1$, ${}^0C$

Aşakda käbir suwuklyklaryň adaty şertlerde ($t=+20$ ${}^0C$, $P=10^5 Pa$) temperatura giňelme koefisentiniň ululygy berilýär:

Suw ....α_t=0,000015, ${}^0C^{-1}$;
Nebit ....α_t=0,00060-0,00092, ${}^0C^{-1}$;
Spirt ....α_t=0,00110, ${}^0C^{-1}$;
Simap ....α_t=0,00018, ${}^0C^{-1}$;
Mineral ýagy.. α_t=0,0007, ${}^0C^{-1}$;

Kerosin.. ....α_t=0,00096, $^0C^{-1}$;

Temperatura giňelme koefisentiniň ululy basyşa baglydygyny hem bellemeli.

Göwrüm gysylmasy: Real suwuklyklaryň göwrümi basyşa baglylikda üýtgeýär. Suwuklyklaryň bu hadysany takyk häsiýetlendirýän göwrüm gysylma koeffisiýentidir (α_p) :

$$\alpha_p = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta p} \tag{1.8}$$

Bu ýerde:α_p - göwrüm gysylma koeffisiýenti,$m^2/N,Pa^{-1}$;

ΔP - basyşyňüýtgeýän ululygy, *Pa*;$\Delta P=P_2-P_1$;

P_1weP_2- başdaky we soňky basyň ululyklary,*Pa*;

ΔV - üýtgän göwrüm, m^3.

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 500 atm çenli üýtgände (ΔP=500 *atm*), α_p=0,0000475 atm^{-1}diýilipkabul edilýär.

Göwrüm gysylma koeffisiýentiniň ters ululygyna maýyşgaklyk (gysylma garşylygynyň) moduly diýilýärwe aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$\frac{1}{\alpha_p} = K_p = \frac{V_0 \Delta P}{\Delta V}, \text{ Pa} \tag{1.9}$$

Jebis ýapyk gaplar suwuklykdan doldurylyp gyzdyrylanda (sowadylanda), onuň temperaturasynyň ýa-da basyşynyň ulylyklaryny kesgitlemek praktikadaköp duş gelýän meseledir. Bu meseläniň çözgüdini (1.5) we (1.9) aňlatmalaryňbilelikdeseredilmegi netijesinde tapyp bolar:

$$\Delta P=\alpha_t K_p \Delta t \quad ,\text{Pa} \tag{1.10}$$

Ýokarda getirilen (1.9) aňlatmany ΔV üýtgeýän göwrüm üçin ýazsak, onda gysylýan suwuklyk üçin mehanikada belli Gukyň kanuny gelip çykýar:

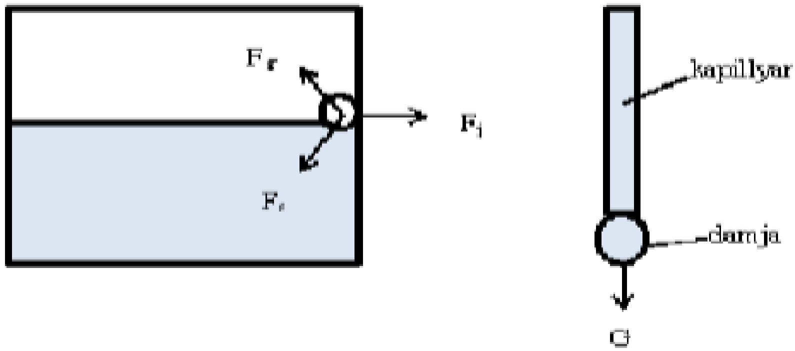
$$\Delta V = \frac{V_0 \Delta P}{K_p} \qquad (1.11)$$

Aşakda käbir suwuklyklar üçin göwrüm gysylma garşylyk modulynyň ululygy berilýär:

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 ýaglary.........K_p=1350-1530 *Mpa*.
Nebit.............................K_p=1350*Mpa*.
Toýun erginleri............. K_p= 2500*Mpa*.

Tebigy suwuklyklaryň göwrüm gysylma garşylyk modulynyň ululygy ΔP=1-500 *atm* çäklerinde üýtgemeýän ululyk hököminde kabul edilýär. Dürli görnüşli ýaglaryň we beýleki nebit önümlerniň göwrüm gysylma garşylyk modulynyň ululygy basyşyň ululygyna laýyklykda kabul edilmelidir.

Üst dartylma güýji suwuklyk göwrümini çäklendirýän daşky üst gatlaklarda çekiji (süýndiriji, ýolujy, goparyjy) güýçlere garşy üst dartylma güýçleri döreýändir. Bu güýji kapillýarlarda, pýezometrlerde we ş.m.ý. görüp bolar.Suratda gaty jisimiň,suwuklugyň we gazyň galtaşýan çäginde ýerleşen elementar bölejigiň deňagramlygy görkezilen. Bu ýerde F_j, F_s we F_g - dürli haldaky maddalar tarapyndan bölejige 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 (gämilerinde) suwuň islendik erkin göwrüminiň şar şekilli bolýandygyny, ýeriň gatlaklarynda we ösümlikleriň suw aýlanşygynda suwuklygyň hereketi esasan kapilýar öýjüklerdäki erkin ýokary galmanyň netijesidigni bilmek ýeterlikdir.



1.7-nji surat

Getirilen mysalda 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 ýa-da tebigy kapillýarlarda suwuklygyň hereketi uly aralyklara bolýandygy bellidir.

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

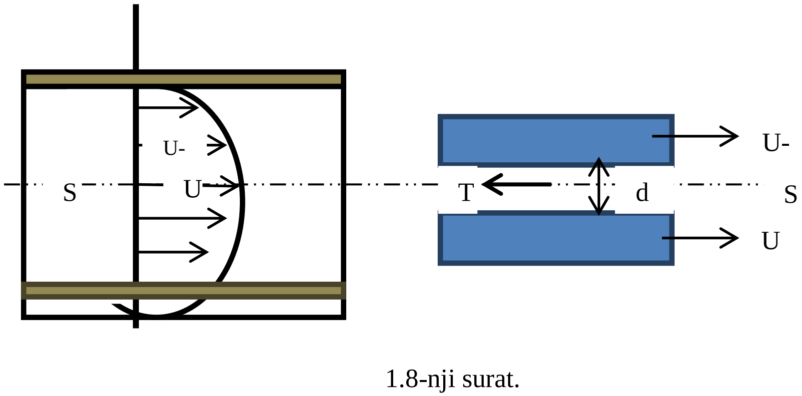
$$\alpha_0 = \frac{G}{\pi d}; \qquad \frac{N}{m} \tag{1.12}$$

Bu ýerde: G-damjanyň agramy,*N*; d - damjanyň esasy suwuklyk göwrüminden aýrylýan pursadyndaky kese kesiginiň uzynlyk ölçegi,*m* (1.7-nji surat).

Kä-bir suwuklyklaryň üst dartylma koeffisýentiniň α_0 ululyklary($t=+20^0C$, gurşaw giňişligi howa): suw ýçin 0,081 *N/m*; benzin üçin 0,021; simap ýçin 0,541; çalgy ýaglary üçin 0,035-0,038;

Şepbeşiklik: Hereket edýän suwuklyk ýa-da gaz göwrümini emele getirýän bölejikleriň akymyň çäginde dürli şertlerde bolýandyklary sebäpli, olaryň hereketleri üznüksiz bolsada, tizlikleri biri-birinden tapawutlydyr. Bu ýagdaýy islendik akymda, hususanda kanallardaky we turbalardaky akymlarda görmek bolar. Tapawutly tizlikli hereketleriň döremegine we olaryň durnukly derejesini saklamaklyga sarp edilýän güýje ″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 (1.8-nji surat). Iki gatlaklaryň tizlikleriň ara tapawudyna (dU) proporsional, umumy sürtülme tekizligiňS-S ugry bilen,tizlik wektoryna garşylykly ugurda T ululykly sürtülme güýji döreýär.



1.8-nji surat.

Bu güýjiň ululygy

$$T = \mu \cdot S\frac{du}{dy} \qquad (1.23)$$

ýa-da

$$\tau = \frac{T}{S} = \frac{\mu \cdot du}{dy} \; ; \; \frac{N}{m^2} \qquad (1.24)$$

Bu ýerde:

τ - sürtülme güýjiniň datylmasy, N/m^2;

$\frac{du}{dy}$- tizlik gradiýenti;

μ- şepbeşikligiň dinamiki koeffisiýenti, *pu* (Puaz):

$$\mu = \tau \frac{dy}{du}; \qquad \frac{Ns}{m^2}, \quad Pa.s \qquad (1.25)$$

Diýmek, dinamiki şepbeşiklik wagt birliginde içki sürtülme güýjiniň döreýän dartgynlygydyr.

$$1\ pu = 0{,}1\ N/m^2$$

Gidrawlikada şepbeşikligiň kinematiki koeffisiýenti (*v*) hem giňden ulanylýar. kinematiki şepbeşik koeffisiýenti aňlatma bile kesgitläp bolar:

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

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

Aşakdaberlen 1.2-nji tablisada käbir suwuklyklaryň şepbeşikliginiň dinamiki we kinematiki koeffisýentleriniň ululyklary getirilýär.

1.2-nji tablisa

Suwuklyklaryň şepbeşikliginiň dinamiki we kinematiki koeffisýentleri

Suwuklukar	Şepbeşiklik koeffisiýenti	
	Dinamiki μ, $Pa{\cdot}s$	Kinematiki $\nu \cdot 10^{-4}$, m^2/s
Arassa tebigy suw	0,001	0,0101
Benzinler (t=+15^0C)	0,0006-0,0008	0,0083-0,010
Kerosinler (t=+15 ^0C)	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 ^0C)	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 suwukluklaryň şepbeşikligi biri-birinden has tapawutlydyrlar. Suw bilen deňeşdirilende suwuk kömür kislotasynyň şepbeşikligi 50 esse kiçidir, kastor ýagy bilen deňeşdirilende suwuň şepbeşikligi 1000 esse kiçidir. Suwukluklary turbalar arkaly akdyrmak meselesinde olaryň şepbeşiklik görkezijisi esasy kesgitleýjisi hem-de görkezijidir.Suwuklyklaryň we gazlaryň şepbeşikligi olaryň temperaturasy we basyşy bilenbaglanyşyklydyr. Ähli suwuklyklaryň şepbeşikligi temperatura ulaldygyça kiçelýändir. Gazlaryň şepbeşikligi tersineulalýandyr.

Islendik temperaturada suwuklyklaryň şepbeşikligi fransuz alymy Puazeýliň formulasy boýunça kesgitlenilýär:

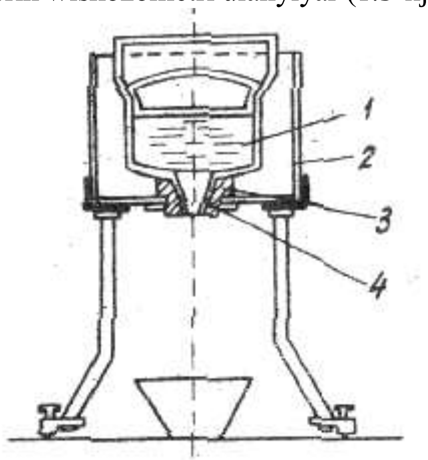
$$\nu = \frac{\nu_0}{1+\alpha t+\beta t^2} \qquad (1.27)$$

Bu ýerde: ν_0- adatyşertdäki kinematiki şepbeşiklik; *t*-suwuklygyň temperaturasy; αwe β-suwuklyklaryň aýratynlyklaryna baglylykda kabul edilýän hemişelik ululyklar. Suw üçin (1.27)aňlatma giryän ululyklaryň san bahalary: ν_0=0,0178 *pu* (t=0 ^0C); α=0,0337; β= 0,000221 ululyklara deňdirler.

Suwuklyklaryň we gazlaryň şepbeşikligi basyş ulaldygyça ulalýandyrlar. Emma gazlar üçin basyşyň bellibirkritiki 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 şertli şepbeşikligi wiskozimetrlerde ölçenilýär. Tehnikada, önümçilikde we ylymda köplenç halatlarda nemes alymy Engleriň wiskozometri ulanylýar (1.9-nji surat).



1.9-njy surat.

Bu ölçeg enjamyň 200 sm^3 göwrümli latundan ýasalan silindr şekilli 1 etalon gabyna derňelmeli suwuklyk guýylýar. Etalon gabyň içi ýokary hilli reňkli metal gabygy bilen örtülýär. Derňelýän 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 gabyň güberçek şekilli düýbinde 3 belgili latun turbajygy we oňa geýdirilen ýörite dykyly 4 belgili platina turbajygy ýerleşdirilýär. Derňew mahalynda diňe etalon gabyndaky suwuklygyň erkin akyp çykýan t_1-wagty ölçenýär.

Onda, derňelýän suwuklygyň şertli şepbeşikliginiň (ŞŞ)$E_{ŞŞ}$ ululygy t_1 we t_0 (derňew şertlerinde etalon gapdan distilirlenen suwuň erkin akyp çykýan wagty), wagtlaryň gatnaşygy görnüşinde kesgitlenilýär.

$$E_{şş} = \frac{t_1}{t_0} \tag{1.28}$$

Kesgitlenen $E_{şş}$ şertli şepbeşiklige Engleriň şepbeşikligi ýa-da Engleriň gradusy diýilýär.

Derňelen suwuklygyň şepbeşiklgniň kinematiki koeffisýentiniň ululygy ylymda kabul edilen empriki geçiş aňlatmalaryň kömegi bilen hasaplanylýar. Olardaniňlis alymy Ubellodyň empriki formulasyny:

$$\nu = 0.0732 \cdot E_{şş} - \frac{0.0631}{E_{şş}}; \quad \frac{sm^2}{s} \tag{1.29}$$

we nemes alymyFogeniň has takyk emperiki formulasygörkezip bolar:

$$\nu = 0.01 \cdot E_{şş} 7.6(1 - \frac{1}{E_{şş}}); \quad \frac{sm^2}{s} \tag{1.30}$$

1.4. Suwukluklarda we gazlarda statiki basyşy ölçemek diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň maksady:

1. Pýezometrler bilen basyşy ölçemek.
2. Gapdaky howanyň artyk manometriki we doly (absolýut) basyşlary hasaplamak
3. Suwuklugyň astyndaky nokatdamanometriki we doly basyşy kesgitlemek.

Tema boýunça gysgaça nazaryýet maglumatlary

Asuda, deňagramlyk ýagdaýda bolan suwuklugyň islendik nokadynda basyş şol nokatdaky absolýut dartylma deňdir. Suwuklukdaky ΔS elementar meýdança normal ugur boýunça täsir edýän güýç bar bolsa, onda basyş şu aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$p=\lim_{\Delta S\to 0}\left(\frac{/\Delta F/}{\Delta S}\right), \qquad (1.31)$$

Bu ýerde: p- suwuklyk giňişliginiň belli bir nokadynda basyş, Pa (Paskal);

ΔS – ölçegleri kiçi bolan elementar meýdança, m^2;

ΔF-kiçi ölçegli ΔS elementar meýdança normal ugur boýunça täsir edýän elementar güýç, N (nýuton).

Suwuklyk giňişlikdäki garalýan elementar meýdança nola ymtylanda ΔS→0 onyň çägi nokat diýip bolar we 1-nji aňlatma nokatdaky basyşy kesgitleýär.

Suwuklyk giňişlikdäki nokadyň basyşy şol nokadyň kordinatalaryna bagly bolup, ΔS meýdançanyň ýerleşýän tekizlik uguryna(orýentasiýasyna) bagly däldir.

Suwuklukdaky S meýdana täsir edýän ortaça basyş şu aňlatma bilen kesgitlenilýär.

$$P_{or} = F/S \qquad (1.32)$$

Bu ýerde: p_{or} – S meýdana düşýän ortaça basyş, Pa;

F-S meýdana täsir edýän güýç, N.

Gidrawlikada (gidromehanikada) basyşyň şu adalgalary we görnüşleri tapawutlandyrýar:

- Doly (absolýut) basyş (p_{abs})
- Artyk (manometriki) basyş (p_m)
- Wakuummetriki basyşy (p_w)
- Atmosfera basyşy (p_{at})

Agzalyp geçilen basyş görnüşleriniň manysyny, olaryň aratapawydyny we arabaglanşygyny 1-nji suratyň üsti bilen görkezilip we düşündirip bolar.

Artyk manometriki basyş aňlatma bilen hasaplanýar:

$$p = p_{1\,abs} - p_{at} \qquad (1.33)$$

Wakuummetriki basyş aňlatma bilen hasaplanýar.

$$p_w = p_{at} - p_{2\,abs} \qquad (1.34)$$

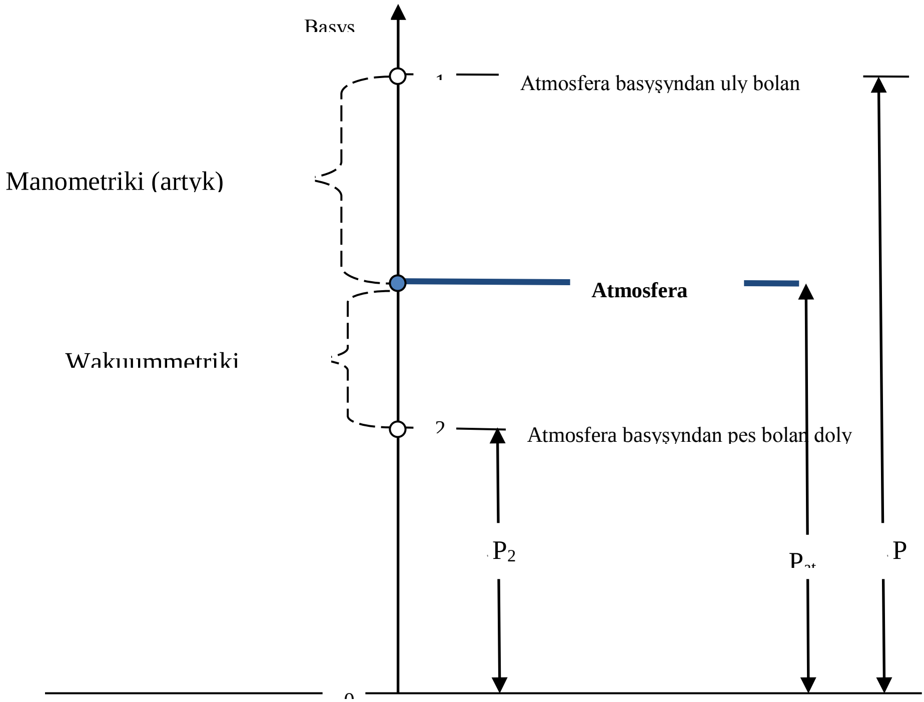
bu ýerde: $p_{1\,abs}$ we $p_{2\,abs}$ – 1-nji we 2-nji nokatlarda doly (absolýut) basyşlar.

Basyş normal ugurdan täsir edýän güjüň döredýän dartgynlygyna deň bolup, ol şu ölçeg birliginde bolýar

$$P = [F] / [S] = \frac{[güýç]}{[meýdan]} = \frac{N}{m^2} = Pa \qquad (1.35)$$

Basyşyň başgada ölçeg birlikleriniň bardygyny bellemeli, mysal üçin: 1 tehniki atmosfera = 1 kg. güýç/sm^2 = 98100 Pa = 10 m suw sütüniniň döredýän basyşyna (ρgh = 1000 x 9,81m/s^2 x10m=98100 Pa) = 736 mm simap sütüniniň döredýän basyşyna. Uly basyşlar kPa, MPa, we Bar ölçeg birliklerinde hem häsýetlendirilýär, olaryň ululyklary:

1 kPa = 1000 Pa;
1 MPa = 1*10^6 Pa;
1 Bar = 10^5 Pa.

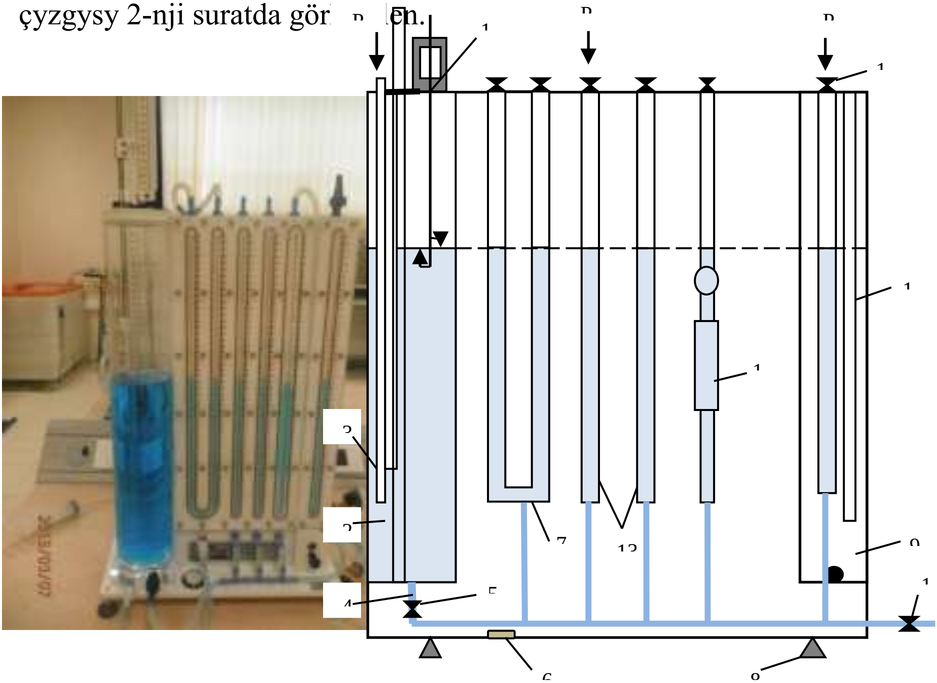


1.10-njy surat. Basyş görnüşleriniň arabaglanşygy

Tejribe işini geçirmekde ulanylýan guralynyň häsýetnamasy

Tejribe işi Halkara nebit we gaz uniwersitetiniň Nebit we gaz fakultetiniň ýöriteleşdirilen gidrawlika tejribehanasynda geçirilýär. Gidrostatikadan tejribe işlerini geçirmek üçin niýetlenen armfield kompaniýanyň F1-29 inženerçilik okuw guraly ulanylýar.

F1-29 guralynyň daşgy görnüşi we esasy bölekleriniň çyzgysy 2-nji suratda gör[illegible]en.



1.11-nji surat. Gidrostatikadan tejribe işlerini geçirmek üçin F1-29 guraly:

1-gapdaky suwukluk derejesiniň ýerleşini kesgitlemek üçin ölçeýji gural; 2-dik silindriki suwukluk gaby; 3-ýokarsy açyk we atmosfera bilen gatnaşykda bolan dik ýerleşen pýozemetr; 4-suwuklukdan doldurmak we boşatmak üçin çykalga;

5-suwukluk mukdaryny sazlamak üçin kran; 6-guralyň tekiz ýerleşişini görkezýän urowen; 7-‘‘U’’ şekilli suwukluk monemetri; 8- guralyň tekiz ýerleşişini sazlanýan nurbatly direg; 9-pýozemetri dürli burç eňňitlere öwürmek we saklamak üçin mehanizim; 10-guraly suwuklukdan boşatmak ýa-da herekete getirmek üçin niýetlenen çykalga; 11-dürli diýametri bolan dik manometr turbajygy; 12-dürli burçly eňňite öwrülýän pýezometr; 13- dik manometr turbajyklary, pýezometrler; 14-plastmass çykalgasy.

Işleriň geçirilşiniň tertibi

Tejribe işini geçirmek üçin F1-29 guralyň ölçeýji enjamlary we aýra bölekleri ulanylýar. Suwuklygyň üstünde howanyň basyşyny üýtgetmek üçin el nasosy peýdalanylýar. Basyşyň ululygy pýezometriň kömegi bilen ölçeg edilýär.

F1-29 guraly F1-10 gidrawliki gabyň üstünde ýerleşdirilýär we maýşak plastik turbalary bilen birikdirilýär. Dik silindiriki gapdaky (2) suwuk çuňlugynyň ölçegi geçirilýär we atmosfera basyşynda pýezometrleriň görkezýän ululyklary kesgitlenýär.

Suwuklugyň üstündäki howada el nasosy bilen döredilen basyşyň ululygy pýezomtriň görkezme ululygynyň (h) üsti bilen hasaplanyp çykarylýar:

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{ýa-da} \quad p = \rho \cdot g \cdot l \cdot \sin \Theta \quad (1.36)$$

Bu ýerde: p - suwuklugyň üstündäki atmosfera basyşyndan artyk bolan howanyň manometriki basyşy, N/m^2, ýa-da Pa;

ρ – suwuklugyň dykyzlygy, kg/m^3 (suw üçin $\rho = 1000 kg/m^3$);

g – erkin gaçmanyň tizlenmesi, m/s^2 ($g = 9,81\ m/s^2$);

h –silindriki gabyň suwukluk derejesinden ýokarda bolanwe pýezometriň görkezýän suw sütüniniň beýikligine deň bolan basyş napory, m;

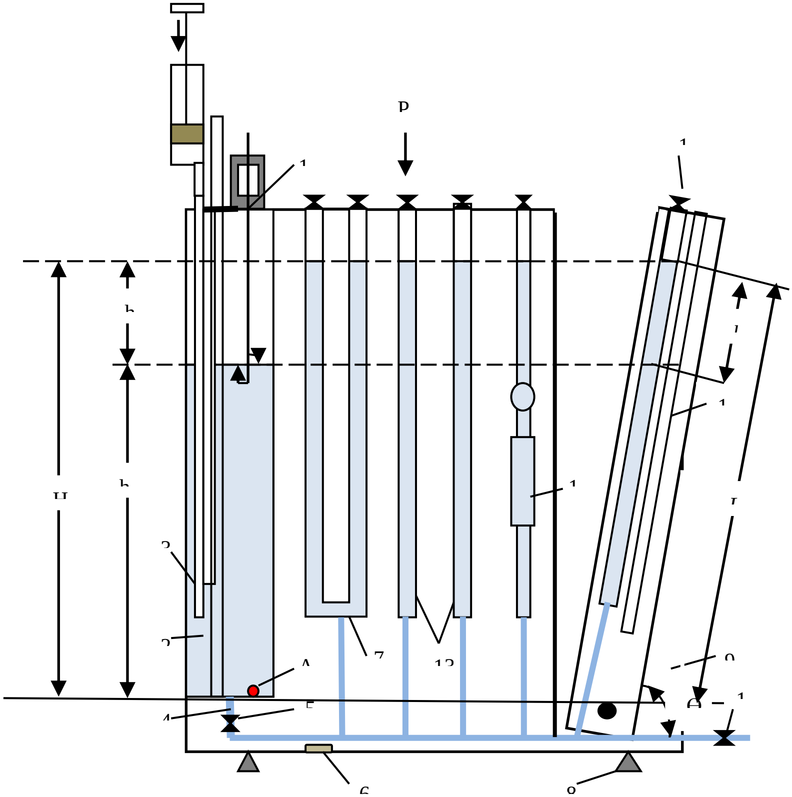
l- < Θ burç eňňiti bilen ýerleşen pýozemetriniň görkezýän ululygy, m.

Howanyň doly absolýut basyşy aňlatma bilen hasaplanar:

$$P_{abs}=P_{at}+P_{M} \qquad (1.37)$$

Bu ýerde: P_{abs} – doly (absolýut) basyş, Pa.

Soňra silindriki gabyň üstünde ýerleşen çykalga el nasosyny birikdirip suwuklugyň ýokarsynda howa basy ulaldylýar we pýezometriň görkezýän ululygy h kesgitlenýär (3-nji surat).



1.12-nji surat. F1-29 guralda silindriki gapdaky suwuklygyň üstünde atmosfera basyşyndan ýokary bolan basyşly ýagdaýda ölçeg edilişi.

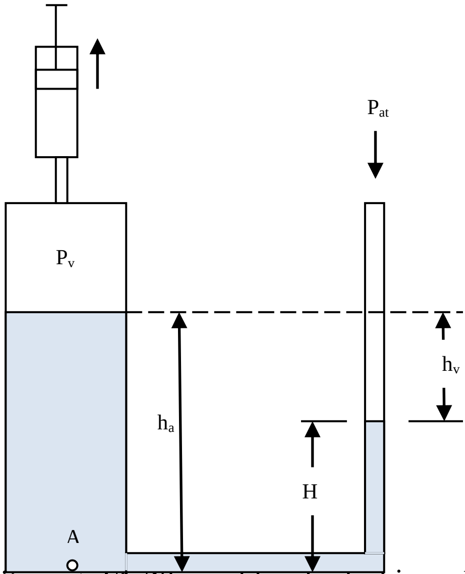
Eger-de suwuklugyň üstündäki howada wakum bolsa (4-nji surat) pýezometriň görkezýän basyş naporyny ölçäp (h_V) wakumyň ululygyny kesgitläp bolar:

$$P_w = \rho\, g\, h_V \qquad (1.38)$$

Bu rede: P_w- suwuklugyň üstündäki atmosfera basyşyndan pes bolan howanyň (gazyň) wakuummetriki basyşy, Pa

h_w – pýezometriň görkezýän suwukluk derejesinden pes bolan basyş napory, m

4444



1.13-nji surat. F1-29 guralda silindiriki gapda suwuklugyň üstünde atmosfera basyşyndan pes bolan basyşly ýagdaýda wakummetriki basyşyň ölçeg edilşi

Bu ýagdaýda howanyň (gazyň) doly, absolýut basyşy aňlatma bilen hasaplap bolar:

$$P_{abs}=P_{at} - P_w \qquad (1.39)$$

Suwuklugyň işinde ýerleşýän (A) nokatda artyk manometriki basyş şu aňlarma bilen hasaplanýar.

$$P_{m\,(A)}=\rho gH \qquad (1.40)$$

Bu ýerde: $P_{m\ (A)}$ – suwuklugyň astynda (h_a) çuňlukda ýerleşýän (A) nokatdaky artyk manometriki basyş, Pa;

H – suwuklugyň astynda ýerleşýän (A) nokat bilen pýezometriň içindäki suwukluuk derejesiniň aratapawudy, ýa-da (A) nokadynda basyş napory, m. Nokatdaky doly

(apsolýut) basyş aňlatma bilen hasaplanýar.

$$P_{(A)abs}=P_A + P_{at} \qquad (1.41)$$

F1-29 guralyň silindriki gabynda (2) suwuklugyň üstünde atmosfera,atmosfera basyşyndan uly bolan basyşda we wakum bolan ýagdaýlarynda ölçegler geçirilip aşakdaky 1-nji tablisa ýazylýar. Ölçeglere baglylykda suwulugyň üstüne we (A) nokadyna täsir edýän artyk manometriki, wakummetriki we doly basyşlary hasaplamaly. Yer bir talyp F1-29 guralyň silindriki gabynda ölçegleri aýratynlykda geçirýär.

Ölçegleriň we hasaplamalaryň netijeleri 1-nji tablisa

T/b	Ölçegleriň ady	Silindriki gapda dürli şertlerdäki ölçegler		
		Atmosfera basyşda	Atmosfera basyşyndan uly bolan basyşda	Wakum bolan ýagdaýynda
1	**Ölçegler:** Pýezometriň görkezýän basyş napory, m	h = o	h =	h_V =
2	Atmosfera basyşy P_{at}, kPa	98,1	98,1	98,1
3	Silindriki gapdaky suwuklugyň dykyzlygy, ρ, kg/m^3	1000	1000	1000
4	Suwuklugyň astynda ýerleşýän (A) nokat bilen pýezometriň suwukluk derejesiniň aratapawudy (nokatdaky basyş napory) H,m	H =	H =	H =
1	**Hasaplamalar:** Silindiriki gapda suwuklugyň üstündäki howanyň (gazyň) artyk manometriki basyşy, ýa-da wakuum, kPa	P_m =	P_m =	P_w =
2	Howanyň (gazyň) doly absolýut basyşy, kPa	$\mathbf{P_{abs}}$=	$\mathbf{P_{abs}}$=	$\mathbf{P_{abs}}$=
3	Suwuklugyň astynda ýerleşýän (A) nokatda artyk manometriki basyş, kPa	$\mathbf{P_{m(A)}}$=	$\mathbf{P_{m(A)}}$ =	$\mathbf{P_{m(A)}}$ =
4	Suwuklugyň astynda ýerleşýän (A) nokatda doly (absolýut) basyşy, kPa	$\mathbf{P_{(A)abs}}$=	$\mathbf{P_{(A)abs}}$=	$\mathbf{P_{(A)abs}}$=

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1. Suwukluklarda we gazlarda statiki basyş nähili aňlatma bilen kesgitlenýär ?
2. Gidrostatiki basyşyň görnüşleri we olaryň hasaplanşynyň aňlatmalary.
3. Basyşyň ölçeg birlikleriniň özara baglanşygy.
4. Tejribe işiniň ýerine ýetirilşini düşündiriň.

Edebiýatlar

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat,2004ý, 43sah.

2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.

3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.

4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Fluid Statics and manometry. Instruction Manual F1-29, 2010, 61 p.

II 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, suwuklyk göwrümiň islendik nokadynda gidrostatiki basyşyň ululygyny 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 gurşawyň 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 ölçegleri 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 $dG_x=p\cdot dx\cdot dy\cdot dz\cdot F_x$; $dG_y=p\cdot dx\cdot dy\cdot dz\cdot F_y$, $dG_z=p\cdot dx\cdot dy\cdot dz\cdot F_z$ bolarlar.

Gidrostatikanyň esasy meselesi-islendik suwuklyk göwrümine täsir edýän üst we massa güýçlerini anyklamak hem-de bu güýçleriň bilelikde täsiriniň netijesinde döreýän içki dartgynlyk ýagdaýyň deňagramlylygyny üpjün edýän esasy statiki şertini matematikanyň takyk usullary arkaly beýan 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 belleniși 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:

$$P = \frac{\mathcal{P}}{\omega} \qquad (2.1)$$

bu ýerde:

p-gidrostatiki basyşyň ululygy, N/M2, kgf/sm2, kgf/m2...

$\mathcal{P}$ – göwrüme (sütüne) täsir edýän, daşky we içki güýçleriň deňtäsiredijisi N, gf, kgf, tf, f-massanyň ölçeg birliklerini (g,kg,t) agram ýa-da güýç birlikleri höküminde ulanmak üçin girizilen güýç belgili goşundydyr. Şeýle-de bu birligi G, kG, T belgileri bilen aňladyp bolar) ω-göwrümiň (sütüniň) kesiginiň meýdany (m2, sm2, mm2,...)

Eger-de suwuklyk göwrüminiň (sütüniniň) kesiginiň meýdany çäksiz kiçeldilse, onda

$P' = \lim\limits_{\omega \to 0} \frac{\mathcal{P}}{\omega}$ gidrostatiki basyşyň nokatdaky ululygyny aňladar.

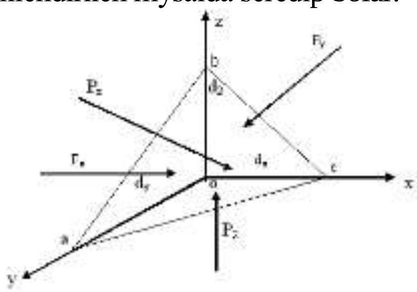
Gidrostatiki basyş öz döreýiş tebigaty boýunça gysyjy (dykyzlandyryjy) güýçdir sebäbi asuda we deňagramlylyk haldaky suwuklyk ýa-da gaz göwrümlerinde diňe gysyjy güýç bu şerti kanagatlandyrar.

Gidrostatiki basyşyň esasan iki häsiýeti bardyr.

1-nji häsiýet: gidrostatiki basyş islendik üste içki normal boýunça täsir edýändir. Bu teorema gidrostatik basyşyň wektor 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 üýtgemeýän 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 ölçegli 0abc elementar tetraýderiň 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

$$\mathcal{P}_x = \frac{1}{2}dydz \cdot P_x \;\; \mathcal{P}_y = \frac{1}{2}dxdz \cdot P_y; \;\; \mathcal{P}_z = \frac{1}{2}dxdy \cdot P_z \qquad (2.2)$$

bu ýerde P_x, P_y, P_z aob boc we aoc elementar üstleriň agyrlyk merkezindäki degişli gidrostatiki basyşlardyr. Eger-de elementar ölçegler 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 basyşlardyr. 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 we 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 gidrostatikanyň esasy deňlemeleriniň gelip çykyşyna we olaryň çözýän mysallaryna serediler.

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

$$
\begin{aligned}
&Fx - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \\
&Fy - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \qquad (2.5) \\
&Fz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} = 0
\end{aligned}
$$

Bu deňlemede Fx, Fy, Fz - suwuklyk göwrümine täsir edýän massa güýçleriniň tizlenmeleriniň degişli proeksiýalary, ρ - suwuklygyň dykyzlygy, дP/дx, дP/дy, дP/дz – seredýän elementar göwrüme täsir edýän daşky güýçleriň degişli gradiýentleri.

Gidrostatikanyň differensial deňlemesi aşakdaky kesgitlemäni aňladýar: deňagramlyk halyny saklaýän 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.

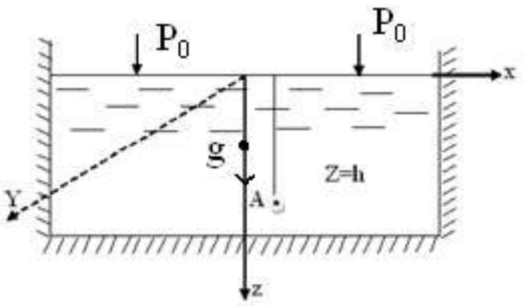
Eýleriň deferensial deňlemeler sistemasy gidromehanika ylmynyň matematiki we nazary başlangyjydyr we onuň esasydyr.

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

$$dP=\rangle(F_xdx+F_ydy+F_zdz); \qquad (2.6)$$

Bu deňlemede dP – daşky güýçleriň ýa-da gidrostatiki basyş güýjiniň doly üýtgeýän ululygy (2.4 belgili aňlatma seret), $F_xdx+F_ydy+F_zdz$. – 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 göwrüminiň mysalynda seredeliň.



2.2-nji surat

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

$$F_x=0, F_v=0, F_z=g.$$

Onda gidrostatikanyň esasy differensial deňlemesi şu görnüşe geler

$$dP=\rangle gdz. \quad (2.7)$$

Deňlemäni integrirläp şu görnüşde ýazýarys:

$$P=\rangle gz+C \quad (2.8)$$

Ýokarda alynan 2.7 we 2.8 deňlemeleriň ýönekeý, emma uly ähmiýetli manysy bardyr, ýagny diňe hususy agyrlyk we hemişelik üst basyşy P_0 täsir edýän suwuklyk göwrümlerinde (tebigy we emeli şertlerde çykýan ähli suwuklyklar) gidrostatiki basyş diňe çuňluga baglylykda, 2.8 deňlemede 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=P0, A nokatda doly absolýut gidrostatiki basyşyň ululygy bolar.

$$P=P_0+\rangle gh \quad (2.9)$$

Alynan 2.9-deňleme <u>gidrostatikanyň esasy deňlemesi</u> 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 ($\rangle gh$) 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.**

Paskalyň kanunynyň subutnamasy hökmünde ýene-de ýokarda seredilen mysala ýüzlenip bileris. Hakykatdan hem seredilen göwrümiň islendik (i) nokady üçin doly gidrostatiki basyşyň ululygy $P_i=P_0+\rangle gh_i$ 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 basyşyň üýtgemeýänligini (dP=0) we seredilýän suwuklyk göwrümi üçin dykyzlygyň ($\rangle$=const) hemişelikdigini göz öňünde tutup, differensial deňleme 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 ýüzleneliň. 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. Integrirlenenden soň, deňleme

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

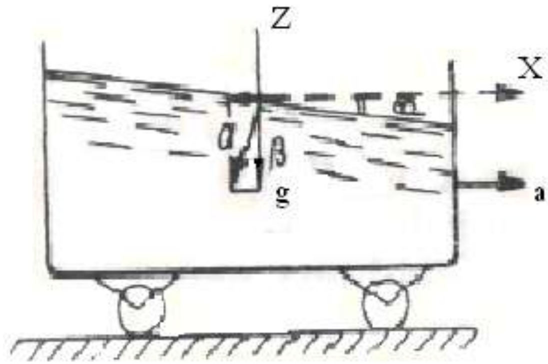
görnüşe geler. Bu deňleme, bilşimiz ýaly, wertikal (z) koordinaty hemişelik bolan kese tekizlikleriň (üstleriň) deňlemesidir. Diýmek otnositel dynçlykda duran suwuklyk göwrüminde islendik gorizontal tekizlik ýa-da üst deň basyşly üstdir. Onda 2.2-nji suratdaky mysalda XOY gorizontal tekizligne paralell geçirlen islendik tekizlik deň 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 $F_x=\pm a$; $F_y=0$; $F_z=\pm g$. Onda, deň basyşly üstüň differensial deňlemesi

$$(\pm a)dx+(\pm g)dz=0 \qquad (2.13)$$

görnüşde ýazylar we integrirlenenden soň

$$(\pm a)x+(\pm g)z=C=const \qquad (2.14)$$



2.3-nji surat.

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

2.4 Gidrostatiki basyşyň görnüşleri we ölçeg birlikleri. Gidrostatiki napor*)

Gidrostatiki basyşyň görnüşlerini we olaryň ululyklaryny deňeşdirmek üçin 2.3-nji suratda görkezilen tejribe mysalyna ýüzleneliň. Içi doly däl asuda suwuklykly ýapyk gabyň h çuňlygynda ýerleşen A nokadynda gidrostatiki basyşy görmek we ölçemek üçin V we P wertikal aýnadan ýasalan turbajyklardan peýdalanalyň. Bu ýerde V - turbajygyň ýokarky ujy ýapyk we içi absolýut boşluk (absolýut wakuum), P - turbajygyň ýokarky ujy açyk we oňa atmosferanyň

*)Napor rus sözünden alyndy. Napor suwuklyk ýa-da gaz göwrüminiň içki doly basyşynyň suwuklyk sütünine getirilen beýikligi, türkmen dilinde ulanyp bilinjek dyňzaw, bat, itgi ýaly sözler basyşyň ýa-da içki dartgynlyk halyň manysyny doly aňlatmaýarlar.

(howanyň) P_a basyşy täsir edýär. Bu turbajyk pýezometriki turbajyk ýa-da pýezometr diýilip atlandyrylýar. A nokada doly gidrostatiki basyşyň ululygy

$$P_A=P_0+\rho gh \tag{2.9}$$

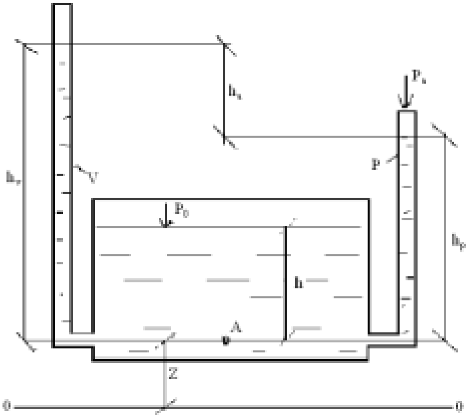
gidrostatikanyň esasy deňlemesi boýunça kesgitlenilýär we bu basyşyň täsiri netijesinde V we P turbajyklarda suwuklyk degişli h_v we h_p beýikliklere galar. Onda, A nokatdaky gidrostatiki basyşyň doly ululygyny aşakdaky deňlemeler arkaly hem kesgitläp bolar.

$$P_A=\rho gh_v \tag{2.14}$$

hem-de

$$P_A=P_a+\rho gh_p. \tag{2.15}$$

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



2.4-nji surat

Absolýut wakumly V turbajykdaky suwuklyk h_v sütününiň agramy we beýikligi

$$h_v = \frac{P_a}{\rho g} = \frac{P_0}{\rho g} + h \tag{2.16}$$

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

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

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 sütününiň 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 görünişi (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 sütüniniň beýikligi bilen aňladylanda, onuň ululygy erkin saýlanan 0-0 gorizontal tekizligine görä kesgitlense, onda bu wertikal beýiklige <u>gidrostatiki napor</u> (bat, itig, dyňzaw) 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

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

artykmaç ýa-da, <u>pýezometrik naporyň</u> ululygy

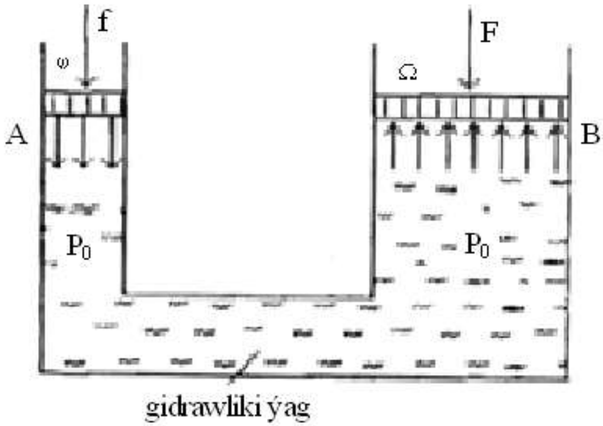
$$H_p = H - h_a = z + h_p \qquad (2.23)$$

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

2.5 Paskalyň kanunynyň tehnikada ulanylşynyň 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:

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

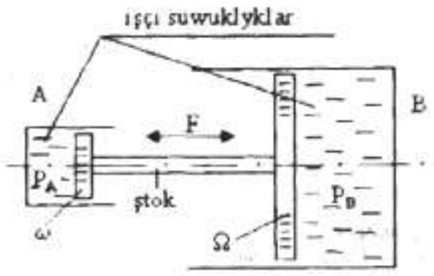
ýa-da

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

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 P_0 basyş nasoslaryň kömegi bilen 5-20 MPa çäklerde döredilýär, hem-de işçi F güýjiň ululygy müňlerçe tonna bolup biler.



2.11-nji surat

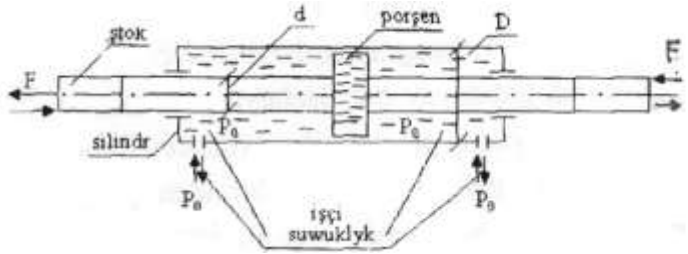
Tehnikada bir bitewi gidrawliki ulgamda basyşy dürli ululykly işçi suwuklyklar ulanyp bilinerler. Bu zeýilli gidrawliki enjamlara basyş üýtgedijiler ýa-da basyş reduktorlary diýilýär. 2.11-nji suratda bir basgançakly gidrawliki basyş reduktorynyň shemasy we işleýiş prinsipi şekillendirilen. Bu enjam 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 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

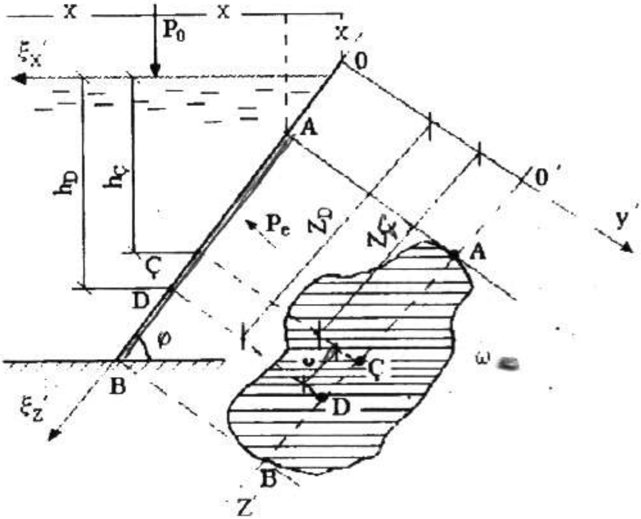
$$F = P_0 \pi \frac{\left(D^2 - d^2\right)}{4} \qquad (3.12)$$

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°<φ<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.

$$\mathcal{P}=P_{ç}\omega \tag{2.30}$$

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

$$P_ç=P_0-P_e+\rangle gh_ç \tag{2.31}$$

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 gurşawyň döredýän basyşy;

⟩ - suwuklygyň dykyzlygy;

g - agyrlyk güýjüniň tizlenmesi;

$h_ç$ - AB tekiz üstüň agyrlyk merkeziniň çuňlugy;

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

$$\mathcal{P}=(P_0-P_e+\rangle gh_ç)\omega \tag{2.32}$$

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:

$$\mathcal{P}=(P_0-P_e)\omega+\rho g h_{\text{ç}}\omega \tag{2.33}$$

ýa-da

$$(P_0-P_e)\omega=P_0 \tag{2.34}$$

$$\rho g\, h_{\text{ç}}\cdot\omega=P_s \tag{2.35}$$

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:

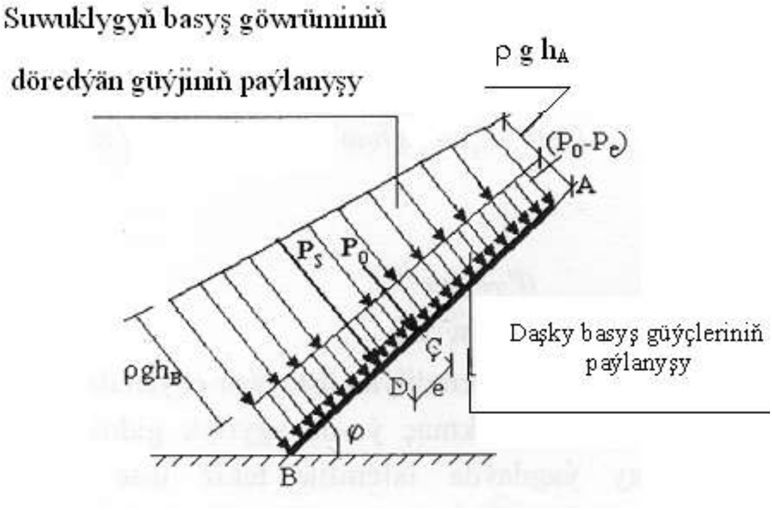
$$\mathcal{P}_0=P_0\cdot\omega \tag{2.36}$$

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

$$\mathcal{P}=\mathcal{P}_s=\rho g h_{\text{ç}}\cdot\omega \tag{2.37}$$

Ýa-da üste täsir edýän gidrostatiki basyş güýji diňe suwuklygyň degişli göwrüminiň ($V_{bg}=h_{\text{ç}}\cdot\omega$) agyrlyk basyş güýji bilen çäklener. $V_{bg}=h_{\text{ç}}\cdot\omega$ ululyk basyş göwrümi diýilip atlandyrylýar. Diýmek basyş göwrümi diýilip 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 güýçlerniň paýlanşynyň mysalynda seljerip bolar. Ýokarda bellenilşi ýaly daşky basyş güýçleri üste deň ululykda paýlanýar we bu güýçleriň deň täsiredijisi P_0 üstiň agyrlyk merkezinde (Ç nokatda) ýerleşýär.



2.14-nji surat

Suwuklygyň basyş göwrüminiň dörедýän 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 *e*– aralygy aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

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

Bu aňlatmada:

e - üstüň agyrlyk we basyş merkezleriniň aralygy;

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

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

bu ýerde:

$h_ç$ – üstüň agyrlyk merkeziniň çuňlygy;

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

2.7 Basyş göwrüminiň we merkeziniň grafo-analitiki usuly bilen kesgitlenilşi

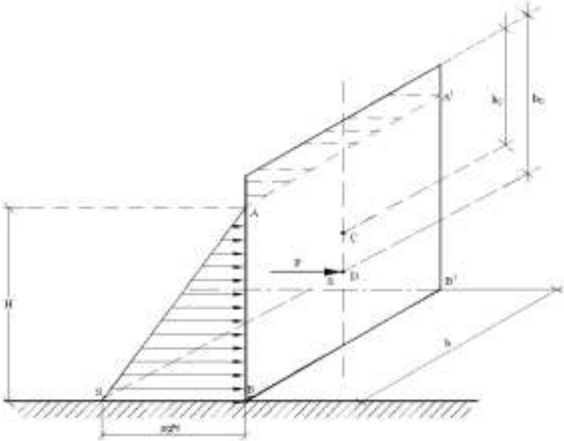
Ýokarda bellenilişi ýaly üstlere täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy getirilen basyş göwrüminiň agramy bilen kesgitlenilýär. Diýmek, islendik tekiz üste täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy

$$\mathcal{P} = \rangle g V_{bg} \qquad (2.40)$$

aňlatma boýunça kesgitlenip bilner.

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 dik 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 (basyşyň paýlanyşy) $p=\rho gh$ 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=〉gH 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:

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

ýa-da

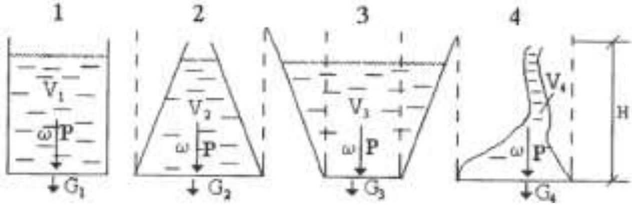
$$\mathcal{P} = \rho g h_c \cdot \omega \tag{2.42}$$

Soňky aňlatmada $h_c = \dfrac{H}{2}$ - şitiň agyrlyk merkezi 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

$$h_D = \frac{2}{3}H \tag{2.43}$$

2.8 Gidrostatiki paradoks hadysasy

Dürli geometrik şekilli gaplarda saklanýan suwuklyklaryň hususy G_i agramlary bilen gaplaryň düýbine täsir edýän gidrostatiki basyş $\mathcal{P}$ 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 şekilleri boýunça tapawutly 4 sany suwuklyk saklanýan gaplaryň gidrostatiki häsiýetnamalary deňeşdirilýär. Gaplaryň beýiklikleri H düýbiniň meýdanlary ω we olarda saklanýan suwuklyklar ρ dykyzlygy boýunça birmeňzeşdirler.



2.16-njy surat.

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

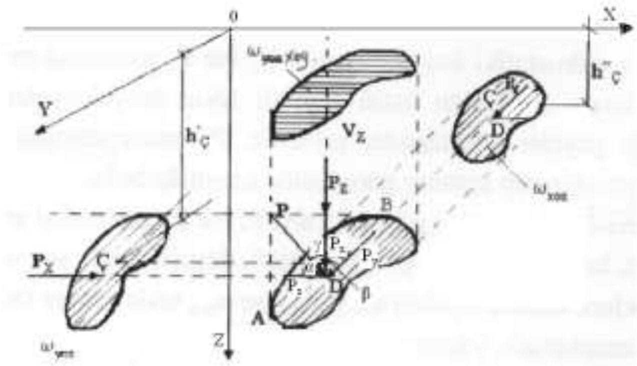
Görüşimiz ýaly, gaplaryň diňe birinjisinde (prizma ýa-da silindr şekilli dik gap) deňeşdirilýän ululyklar özara deňdirler. Sebäbi, bu gapdaky saklanýan suwuklygyň hut öz göwrümi we gabyň düýbine täsir edýän gidrostatiki basyş göwrümi şol bir ululyklardyr, ýagny $V_1=H\cdot\omega$. Şonuň üçin gapdaky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

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 $\mathcal{P}$ ululykly deňtäsiredijisini kesgitläliň. Bu güýji umumy ýagdaýda basyş göwrüminiň wektor agramy hökmünde, onuň degişli emelegetirijileriniň geometrik jemi görnüşinde kesgitläp bolar, ýagny

$$\mathcal{P} = \sqrt{\mathcal{P}_x^2 + \mathcal{P}_y^2 + \mathcal{P}_z^2} \tag{2.44}$$

bu ýerde

$\mathcal{P}_x$ we $\mathcal{P}_y$ – jemleýji basyş güýjiniň degişlilikde getirilen koordinat ulgamynyň gorizontal oklaryna bolan proýeksiýalary, $\mathcal{P}_z$ – ýokarda agzalan tertipde kabul edilen dik oka bolan proýksiýasy.

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

$$\cos\alpha = \frac{\mathcal{P}_x}{\mathcal{P}} \qquad \cos\beta = \frac{\mathcal{P}_y}{\mathcal{P}} \qquad \cos\gamma = \frac{\mathcal{P}_z}{\mathcal{P}} \tag{2.45}$$

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 $\mathcal{P}_x$ we $\mathcal{P}_y$ gorizontal emelegetirijilerini aýratynlykda, seredilýän üstiň degişli tekiz proýeksiýalaryna täsir edýän jemleýji güýçler görnüşinde, şeýle-de, $\mathcal{P}_z$ emelegetirijini degişli dik basyş göwrüminiň agramy görnüşinde kesgitläp bolar.

Onda, 2.27-nji suratdan görnüşi ýaly, $\mathcal{P}_x$ we $\mathcal{P}_y$ 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:

$$\mathcal{P}_x=\rangle g h'_ç \ \omega_{yoz}$$

$$\mathcal{P}_y=\rangle g h''_ç \omega_{xoz} \qquad (2.46)$$

bu ýerde:

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

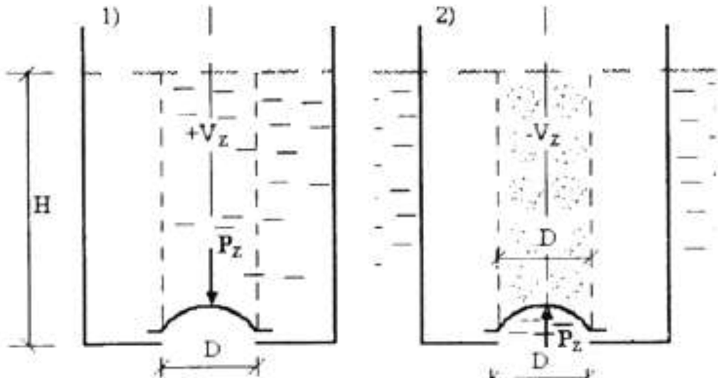
$\mathcal{P}_x$ we $\mathcal{P}_y$ güýçleriň ugurlary, 2.6. we 2.7. paragrflarda belleýşimiz ýaly, ω_{yoz} we ω_{xoz} tekiz üstleriň basyş merkezlerinden geçýän we üstlere perpendikulýar çyzyklar bilen gabat gelýän wektor ugurlar görnüşinde kesgitlenilýär.

$\mathcal{P}_z$ 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:

$$\mathcal{P}_z = \rho g V_z \qquad (2.47)$$

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

Bellik: Wertikal emelegetiriji $\mathcal{P}_z$ güýjiň ululygyny we ugruny kesgitleýän V_z wertikal basyş döwrümi 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 $\mathcal{P}_z$ güýjiň ugry iki ýagdaýda şekillendirilen. Birinji ýagdaýda gap suwuklykdan doldurylan ýa-da suwuklyk tarapyndan gapaga täsir edýän ýeke-täk $\mathcal{P}_z$ 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 $\mathcal{P}_z$ güýç dik aşak ugrukdyrylandyr.

Ikinji ýagdaýda gabyň içi boş, suwuklyk onuň daş töwereginde ýerleşen. Bu ýagdaý-da gapaga suwuklyk tarapyndan ýeke-täk wertikal $\mathcal{P}_z$ 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 $\mathcal{P}_x = \mathcal{P}_y = 0$ dik güýç $\mathcal{P}_z = \rangle g V_z$ dik basyş göwrüminiň agramyna deňdir.

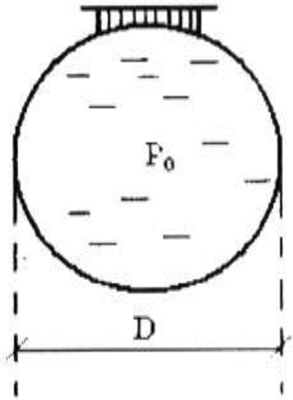
$$V_z = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H - \frac{1}{12} \pi D^3$$

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 basyşyň mysallary

Diametri D bolan şar şekilli rezerwuar P_0 ululykly ýokary basyşly suwuklyk ýa-da gaz bilen doldurylanda onuň howply kesiginde döreýän $\mathcal{P}$ basyş güýjiniň ululygyny kesgitlemek giň ýaýran meseleleriň biridir.



2.29-njy surat

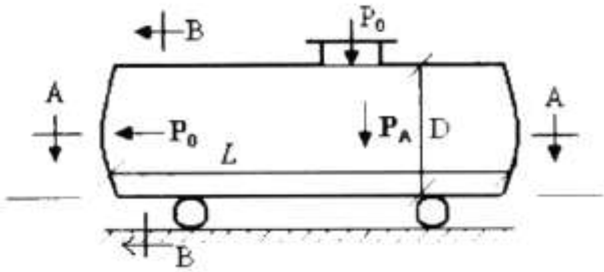
Bu ýagdaýda rezerwuaryň diametri boýunça geçirilen islendik kesik howply ýa-da hasaplama kesigi bolup biler. Sebäbi bu kesik seredýän üstümiziň islendik tekizlikde döredýän proýeksiýa şekilidir. Onda, suwuklygyň ýa-da gazyň P_0 basyşynyň döredýän $\mathcal{P}$ gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy

$$\mathcal{P} = P_0 \frac{\pi D^2}{4} \, , N \tag{2.49}$$

bolar.

Bu güýç, rezerwuaryň diwarlarynda islendik diametral kesik boýunça heläkçilik dörediji (ýaryjy) güýç hökmünde kabul edilmeli.

Nebit önümlerini ýa-da beýleki suwuklyklary daşaýan demirýol çelegi 〉 dykyzlykly suwuklyk bilen doldurylanda we jebis ýapylanda, suwuklygyň P_0 doýan buglarynyň üst basyşynyň we suwuklygyň hususy agramynyň çelegiň hasaplama (howply) kesiklerinde döredýän gidrostatiki basyş güýçleriniň ululyklarynyň kesgitlenilşine seredeliň. Çelegiň geometriki ölçegleri D we *L*.



2.30-njy surat

2.30-njy suratdan görnüşi ýaly, A-A we B-B kesikler 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 $\rho g \left(\frac{D}{2}\right)$ ululykly gidrostatiki agyrlyk we $\mathbf{P}_0$ ululykly üst basyşlarynyň dörýedýän 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 $P_0 D\alpha$ -üst basyşyň döredýän güýji, $\rho g \frac{D^2}{2} \alpha$–dik basyş göwrüminiň döredýän güýji.

B-B kesik boýunça döreýän $\mathcal{P}_B$ ululykly gorizontal gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy çelegiň dik tekizlige bolan proýeksiýasyna täsir edýän jemleýji güýç görnüşinde kesgitleniler. Onda

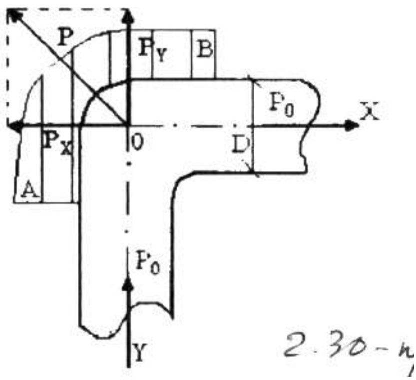
$$P_B = \left(P_o + \rho g \frac{D}{2}\right) \frac{\pi D^2}{4} \qquad (2.51)$$

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 $\mathcal{P}_A$ we $\mathcal{P}_B$ 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 (〉=740 kg/m^3 doýan bugyň basyşy P_0=50 kPa) demirýol sisternasynda $\mathcal{P}_A$=(50·10^3+740·9,81·1,5)3·12=2,5·10^{6}N=250 tonna dik hem-de $\mathcal{P}_B$=(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, esasanda onuň öwrüminiň berklige we durnuklylyga hasaplanylmagyň esasy şertidir.



2.31-nji surat

Turbanyň x we y gorizontal oklarynyň ugry boýunça döreýän $\mathcal{P}_x$ we $\mathcal{P}_y$ basyş güýçleriniň geometrik jemi hökmünde kesgitlenilýän $\mathcal{P}$ jemleýji basyş güýji bu meselede esasy hasaplama ýa-da turbanyň mehaniki durunyklylygyny kesgitleýän güýçdir. 2.31-nji suratdan görnüşi ýaly $\mathcal{P}$ 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 $\mathcal{P}_x$ we $\mathcal{P}_y$ deň ululykly güýçler P_0 ululykly içki statiki basyşyň döredýän dik basyş göwrümleriniň agramlary görnüşinde kesgitleniler:

$$\mathcal{P} = \sqrt{\mathcal{P}_x^2 + \mathcal{P}_y^2} \tag{2.52}$$

$$\mathcal{P}_x = \mathcal{P}_y = P_0 \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{onda } \mathcal{P} = \sqrt{2\left(P_0 \frac{\pi D^2}{4}\right)} \text{ ýa-da}$$

$$\mathcal{P} = \sqrt{2} \cdot \left(P_0 \frac{\pi D^2}{4}\right) \tag{2.53}$$

Mysal üçin, D=1m we P_0 =7,5 MPa bolan gaz geçirijiniň göniburçly 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.

2.11 Arhimediň kanuny. Jisimleriň suwuklyklarda ýüzmegi

Biziň eramyzdan takmyndan 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:

$$\mathcal{P}_A = \rho_s g V_s \tag{2.54}$$

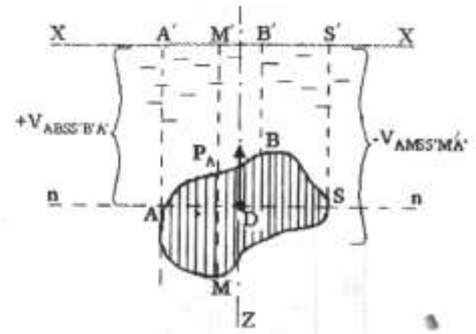
bu ýerde:

ρ_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. temada beýan edilen çözgütlere laýyklykda, ABSM üste ýa-da ýüzýän jisime täsir edýän gorizontal güýçleriň deňtäsır edijileri $\mathcal{P}_x = \mathcal{P}_y = 0$. Sebäbi, üstiň degişli garşylykly dik tekizliklere bolan proýeksiýalary özara deňdirler, diýmek olarda döreýän basyş güýçleri hem özara deňagramlaşýandyrlar. Onda, suwuklyk tarapyndan jisime diňe $\mathcal{P}_z$ 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 n-n 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:

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

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 ýa-da 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.

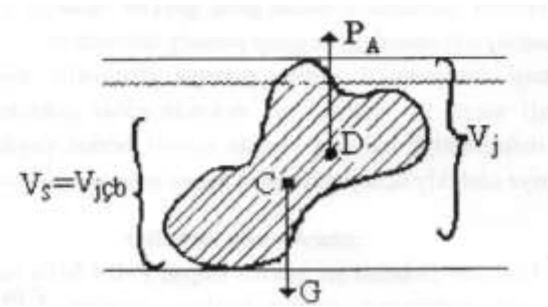
Şeýlelikde, ýüzýän gaty jisime umumy ýagdaýda iki güýç, ýagny dik aşak ugrukdyrylan jisimiň agyrlyk merkezinde (Ç nokat) ýerleşen agyrlyk güýji G we dik ýokaryk ugrukdyrylan, jisimiň basyş merkezinde (D nokat) ýerleşen Arhimediň güýji **P**$_A$ täsir edýändir:

$$G=\rangle_j gV_j \qquad P_A=\rangle_s gV_s \qquad (2.56)$$

Onda, jisimleriň ýüzmeklik şertlerini kesgitleýän ululyklar G we **P**$_A$ güýçler ýa-da $\rangle_j$ we $\rangle_s$ dykyzlyklardyr. Eger-de $G < \mathcal{P}_A$ ($\rho_j>\rho_s$) bolsa, onda jisim doly çümer we ýüzüp bilmez.

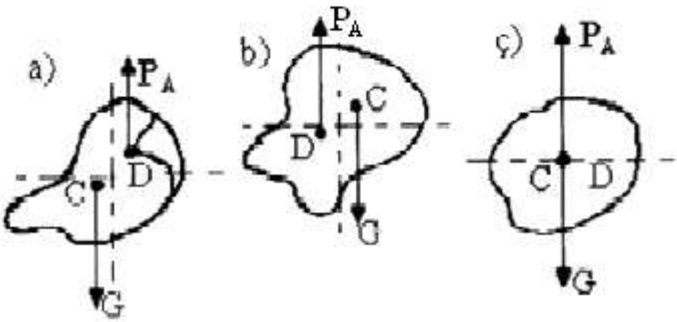
G<**P**$_A$ ($\rangle_j<\rangle_s$) bolanda, jisim gaýyp ýüzer. Bu ýagdaýda, 2.35-nji suratdan görnüşi ýaly jisimiň çümen böleginiň $V_{jçb}$ gysyp çykaran suwuklygynyň agramy, jisimiň öz hususy agramyna G deň bolýança, jisim suwuklygyň ýüzüne çykar.

Üçünji ýagdaýda, ýagny, G=**P**$_A$ ($\rangle_j=\rangle_s$) 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 getirerler.

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 güýjiň ulanylmagy hökmandyr.

2.12. 2-nji baba degişli amaly mysallar

1. Suw saklanýan ýapyk gaba birleşdirilen pýezometrdäki suw sütünininiň 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)

<u>Meseläniň çözülşi:</u>

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

$$P_0+\rangle gh=\rangle gh_p$$

bu ýerde:

$\rangle$ – suwuň normal şertlerdäki dykyzlygy, $\rangle$= l000 kg/m□^{3};

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

Onda $P_0=\rangle g(h_p-h)$=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:

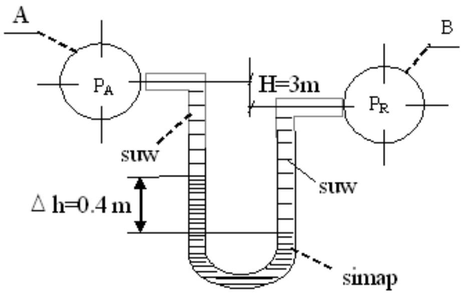
Pa – normal şertlerdäki howanyň (atmosferanyň) basyşy, Pa=l kgf/sm^2=10000 kgf/m^2=98100 Pa;

Onda $P_0=P_a+\rho g(h_p-h)=98100+1000\cdot9{,}81\cdot1{,}8=115758$ Pa.

Ýa-da P_0=0,115758 MPa=1,15758 atm.

2. Çuňlygy H=4200m. bolan guýy buraw ergini bilen doldurylan. Erginiň göwrüm agyrlygy $\gamma_{b.e}$=1880 kgf/m^3. Guýynyň uzaboýundaky (urgy bölegi) basyşyň ululygyny kesgitlemeli. Buraw ergini suw bilen çalşyrylanda basyş nähili üýtgär?

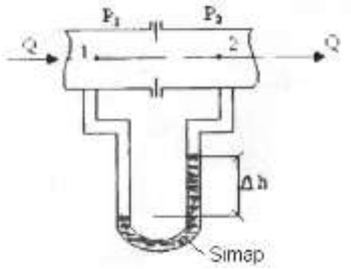
3. Beýikligi H=9,0 m bolan ýapyk wertikal nabit rezerwuarlarynyň ýokarky H_n=7,2 m, bölegi çig nabitden we aşakky galan bölegi suwdan ybarat. Rezerwuaryň düýbine täsir edýän doly gidrostatiki basyşyň ululygyny kesgitlemeli. Rezerwuardaky nebitiň doýan buglarynyň basyşy P_n=0,026 MPa.



2.37-nji surat

4. A we B geçiriji turbalardaky suwuň statiki basyşyň tapawudyny ölçemek üçin simaply differensial manometri ulanylypdyr. 2.37-nji suratda görkezilen şertler üçin P_A we P_B basyşlaryň tapawudynyň ululygyny kesgitlemeli. Suwuň we simabyň dykyzlyklary ρ_s=1000 kg/m^3 ρ_{si}=13600 kg/m^3, ululyklarda kabul etmeli. (2.37-nji surat).

5. 6-njy meseläniň suratyndaky şertlerde, B geçirijiturbadaky statiki basyşyň ululygyny P_B=0,65 MPa kabul edip, A geçiriji turbadaky P_A basyşyň ululygyny kesgitlemeli.

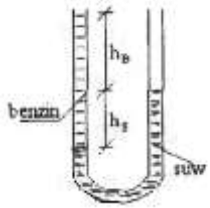


2.38-nji surat

6. Gorizontal magistral gazgeçirijiniň geçirijilik ukybyny ölçemek üçin diafragma we ondaky statiki basyşyň tapawudyny ölçeýän 2.38.-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 〉=4,2 kg/m^3.

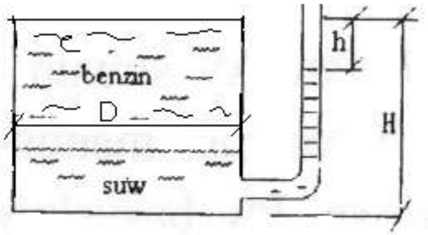
7. 8-nji meseläniň şertlerinde P_1=5,5 MPa, difmanometriň suwuklygy gliserine (〉=2500 kg/m^3) çalşyrylanda we beýiklik Δh=0,8m bolanda P_2 basyşyň ululygyny kesgitlemeli.

8. U - şekilli aýnadan ýasalan turbajyga (2.39-njy surat) suw we benzin guýulypdyr. Normal şertlerde turbajykdaky suwuň beýikligi h_s=600 mm, benziniň beýikligi h_b=400 mm. Benziniň göwrüm agyrlygyny we dykyzlygyny kesgitlemeli. Suwuň dykyzlygy 〉$_s$=1000 kg/m^3



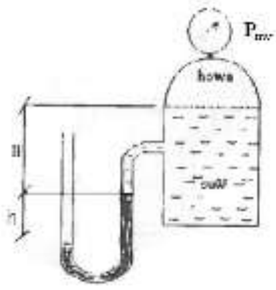
2.39-njy surat

9. 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 pes (2.40-njy surat). Gapdaky benziniň agramyny we göwrümini kesgitlemeli. Suwuň we benziniň agram dykyzlyklary degişlilikde p_s =1000 kg/m^3; $\rangle_b$=700 kg/m^3.



2.40-njy surat.

10. 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. (2.41-nji surat) Atmosferanyň (howanyň) basyşy Pa=740 mm. simap sütüni, simabyň dykyzlygy p_{si} =13600 kg/m^3.



2.41-nji surat

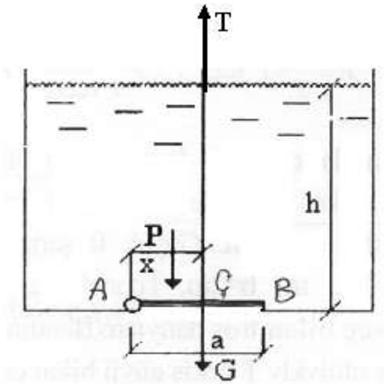
11. Suw bilen doldurylan açyk rezerwuaryň düýbindäki gönüburçlyk şekilli deşik ölçegleri axb=0,5x0,6m bolan tekiz gorizontal klapan bilen ýapylypdyr. Klapanyň agramy G_K=12 kgg. Rezerwuardaky suwuň çuňlygy h=2m. Klapan şarnirli A okuň töwereginde aýlanýar (2.42-nji surat).

Kesgitlemeli:

1) klapana täsir edýän $\mathcal{P}$ 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?



2.42-nji surat

Meseläniň çözülişi.

I. Klapana täsir edýän $\mathcal{P}$ basyş güýjiniň ululygy aşakdaky aňlatma boýunça kesgitlenip biliner:

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

bu ýerde: ρ - suwuň dykyzlygy,

$\rho=1000\ kg/m^3$;

ω - klapanyň meýdany,

$\omega=axb$.

Onda

$$\mathcal{P}=\rho gh\,a\,b+G_k g;$$

$$\mathcal{P}=1000\cdot9{,}81\cdot2\cdot0{,}5\cdot0{,}6+12\cdot9{,}81;$$

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

$\mathcal{P}$ güýjiniň klapana täsir edýän nokady onuň agyrlyk merkezi bilen gabat gelýär, sebäbi klapan tekiz gorizontal 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 pursatlarynyň deňligi bilen kesgitlenilýär. Bu şerti kanagatlandyrýan güýçleriň pursatlarynyň 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

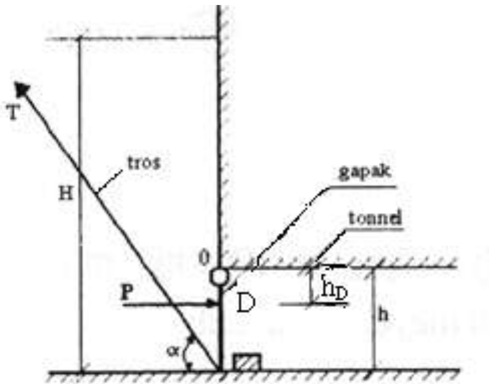
$$T_{\min} = P\frac{a}{2x} = P\frac{a}{2a} = \frac{P}{2}; \qquad T_{\min} = \frac{6004}{2} = 3002N = 306kgg.$$

2. Tros klapana x=0,25 m aralykda daňylanda, onuň çekiş güýji ýokarda seredilen güýç pursatlaryň deňlemesine laýyklykda aşakdaky görnüşde kesgitleniler:

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

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

12. 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. (2.43-nji surat) Bendiň beýikligi H=4m. Gapagy açmak üçin trosy näçe ululykly T çekiş güýji bilen çekmeli?



2.43-nji surat

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

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

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:

$\mathcal{P}$ – gapaga bendiň öňündäki suw tarapyndan täsir edýän gidrostatiki basyş güýji;

h_D – basyş güýjiň 0 şarnire görä egni.

Gapaga täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygy we onuň 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:

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

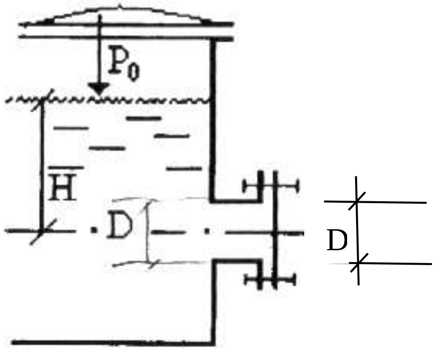
Onda

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

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

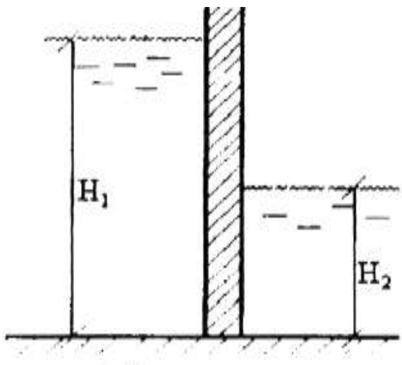
$$T = \frac{68670 \cdot 0{,}524 \cdot 2}{1 \cdot \sqrt{2}} = 50860N = 5184{,}5kgg$$

13. 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.(2.44-nji surat)



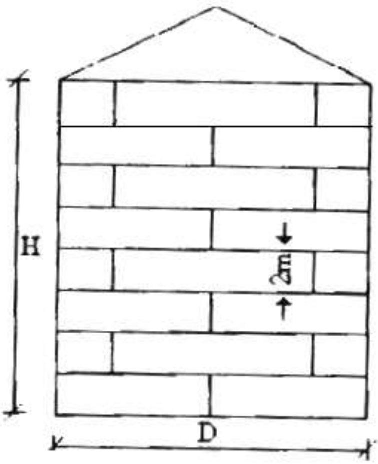
2.44-nji surat

14. Dik tekiz diwar emeli suw howdanyny iki bölege bölýär. (2.45-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 pursatlarynyň ululyklaryryny kesgitlemeli?



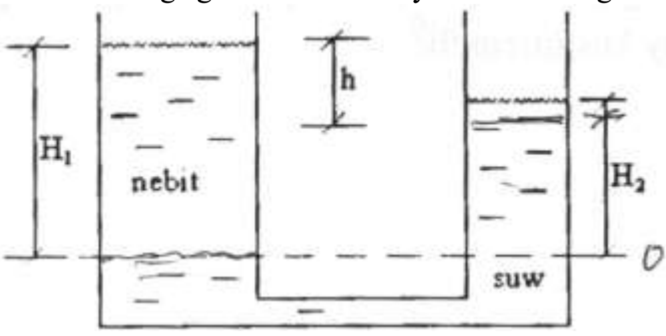
2.45-nji surat

15. Polat nebit rezerwuary dikligine 8 sany deň böleklerden ybarat bolan prokat listlerinden ýasalypdyr. Rezerwuaryň beýikligi H=16 m, diametri D=10 m. (2.46-njy surat) Listleriň ini 2 m, süýnmeklige çydamlygy $F=1\cdot10^5$ P_a. Nebitiň dykyzlygy $\rangle$=910kg/m^3, ýüzýän gapagyň agramy G=70KN. Nebitiň içki basyş güýjiniň listlere paýlanyşyny we olaryň galyňlygyny kesgitlemeli.



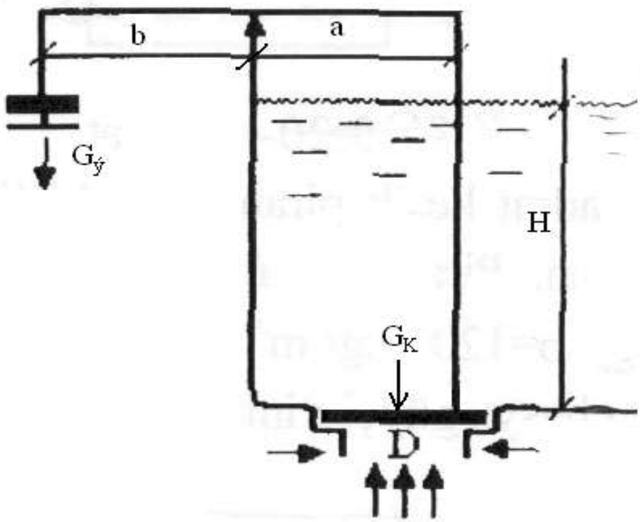
2.46-njy surat

16. Iki açyk galtaşýan dik gaplarda nebit (dykyzlygy $\rangle_n$=810 kg/m^3) we ondan aýrylan suw (dykyzlygy $\rangle_S$=1000 kg/m^3 saklanýar. Suwuklyklaryň beýiklik derejeleriniň tapawudy h=660 mm bolanda (2.47-nji surat) olaryň deň basyşly bölüji gorizontal 0-0 tekizlige görä H_1 we H_2 beýikliklerini kesgitlemeli.



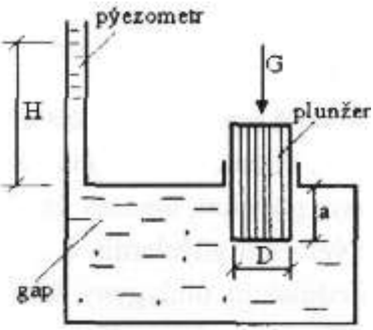
2.47-nji surat

17. Açyk rezerwuarynyň suw girelgesi (diametri D=l50mm) ölçemeleri a=200mm we b=540mm bolan ýükli klapan bilen ýapylan (2.48-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.



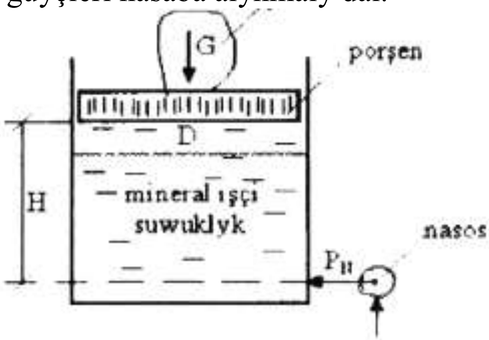
2.48-nji surat.

18. Gaba birleşdirilen pýezometrdäki mineral ýagyň (dykyzlygy 〉=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? (2.49-njy surat).



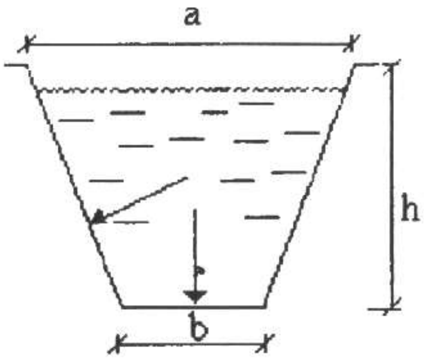
2.49-njy surat

19. Agramy G=800 KN ýüki H=1,8m beýiklige galdyrýan gidrawliki galdyryjyny (2.50-nji surat) hereketlendirýän nasosyň işçi basyşynyň ululygy näçe bolmaly? Gidrawliki galdyryjynyň porşeniniň diametri D=600 mm, işçi suwuklygyň dykyzlygy 〉=920 kg/m^3. Porşeniň hususy agramy we ulgamda döreýän sürtülme güýçleri hasaba alynmaly däl.



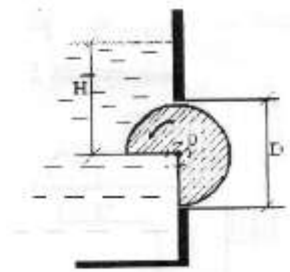
2.50-nji surat

20. Esaslary kwadrat kesik piramida şekilli açyk gap (2.51-nji surat) glisirinden doldurylan. Piramidanyň ölçegleri a=2,0 m, b=1,2 m, h=3,0 m. Glisiriniň dykyzlygy 〉=1200 kg/ m^3 Piramidanyň esasyna we onuň gapdal üstlerine täsir edýän basyş güýçleriniň ululygyny kesgitlemeli?



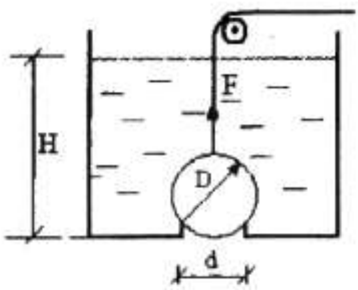
2.51-nji surat

21. 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 aýlanýar. (2.52-nji surat).Umumy görnüşde zatworo täsir edýän gidrostatiki basyş güýjiniň ululygyny kesgitlemeli.



2.52-nji surat

22. 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. (2.53-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?

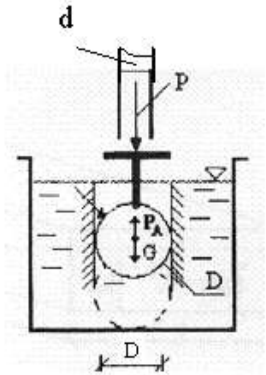


2.53-nji surat

23. Diametri D bolan şar şekilli klapan P=0,4 M*P*a basyşly d=20mm diametrli suw turbasynyň çykýan kesigini ýapýar. 2.54-nji suratdaky deňagramlyk şerti üpjün edýän şaryň diametrini kesgitlemeli? Klapanyn agramy G=5,2 kgg.

Meseläniň çözlüşi.

Şekillendirilen deň agramlyk ýagdaýynda klapana üç sany güýç täsir edýär.



2.54-nji surat

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

Onda, güýçleriň deňagramlygynyň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylar:

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

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:

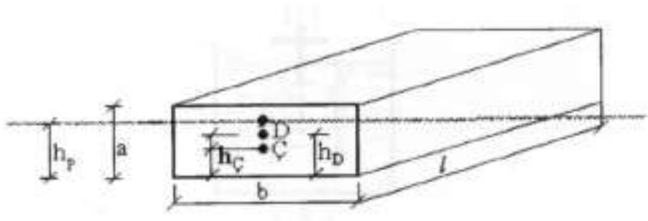
$$D = \sqrt[3]{\frac{6(G + 0{,}785 \cdot d^2 \cdot P)}{\pi \cdot \rho_S \cdot g}}, m$$

Mysalda berilen ululyklary ýerli ýerine goýup şaryň diametriniň ululygyny kesgitleýäris:

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

$$D = 322 mm.$$

24. Agramy Gý=10 tg bolan ýüki suw päsgelçiliginden geçirmek üçin ölçegleri b=2,0m we 1=5,0m bolan panton (ýüzýän gurnaw) ýasaldy. (2.55-nji surat). 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?



2.55-nji surat

Meseläni ýükli pantonyň gaýyp durnukly ýüzmegini üpjin edýän şerte laýyklykda çözýäris. Bu şertde ýükli pantonyň agramy we suwuklyk tarapyndan pantona täsir edýän Arhimediň 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:

$$G_{ý} + G_P = \mathcal{P}_A$$

ýa-da

$$G_{ý} + G_P = \rho_s g b l h_P$$

Bu ýerde $V_{çbg} = \rho_s g b l h_P$ - 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:

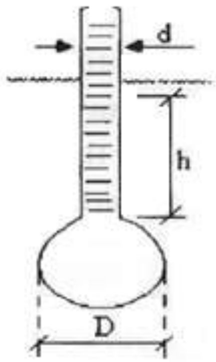
$$h_p = \frac{(10+2)\cdot 1000 \cdot 9{,}81}{1000 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 5} = 1{,}2\,m;$$

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≥0,55m. 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.

25. Suwuklygyň gykyzlygyny ölçemek üçin ulanylan areometr (ölçemeleri d=20mm, D=30mm, agramy G=0,054 kgg), 2.56-njy suratda görnüşi ýaly, aşaklygyna h=l50mm çümüpdir. Suwuklygyň dykyzlygynyň ululygyny kesgitlemeli.



2.56-njy surat.

26. 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?

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

2. 13.Pružin manometriniň tejribe esasynda barlanşy diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň maksady. Pružin manometriniň gurluşyny we tejribe esasynda agram usuly bilen barlanşyny öwrenmek.

Pružin manometri barada gysgaça maglumat

Pružin manometrleri atmosfera basyşyndan artyk bolan basyşy ölçemek üçin niýetlenendir. Ölçegleriň takyklygy boýunça pružin manometrleri şu görnüşlere bölýäler:

Tehniki manometrlere – takyklyk klassy $K = 1 \div 2{,}5$ deň;

Barlag manometrlere – takyklyk klassy $K = 0{,}6 \div 1$ deň;

Tejribehana, nusgalyk we etalon manometrleri – takyklyk klassy $K = 0{,}6$ we ondan kiçi.

Takyklyk klassy manometriň özünde bellenip, onuň %-de berýän ýalňyşlygyny görkezýär.

Tehniki manometrleriň ýönekeý gurluşy we ýokary ygtybarlygy bolup, olar önümçilikde suwukluk we gaz hereketleri bilen bagly bolan dürli ulgamlarda basyşyň ululygyny ölçemekde giňden ulanylýar.

Barlag manometrleri ýokary takyklyk bilen basyşyň ölçegini geçirmek we iş ýerinde tehniki manometrleri barlamak üçin peýdalanylýar.

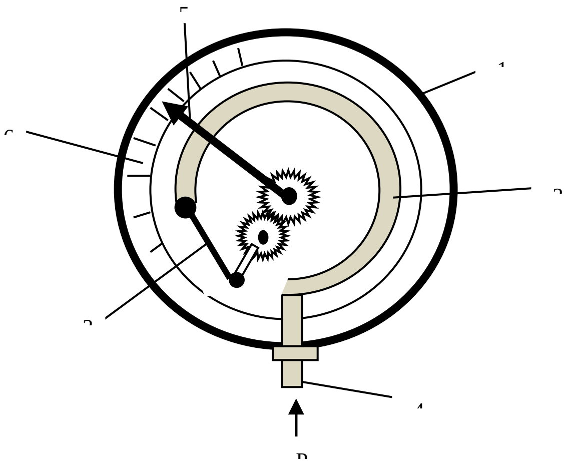
Tejribehana manometrleri ylmy-barlag işlerinde ulanylýar.

Nusgalyk we etalon manometrleri ýokarda bellenen manometrleri barlamak we düzetmek (tarirowka ýa-da kalibrowka etmek) işlerinde ulanylýar.

Pružin manometriniň gurluşy

Pružin manometriniň gurluşy 1–nji suratda görkezilen. Pružin manometriniň esasy işjeň bölegi ol hem egri pružin häsýetli turbajyk (2) bolup durýar. Basyş köpelende egri turbajyk gönelip başlaýar we basyş peselende ýenede öňki ýerine gaýdýar. Turbajygyň hereketi eginli hereketlendiriji mehanizmiň (3) üsti bilen görkeziji sterelka geçýär we sanlar şkalasynda basyşyň ululygyny görkezýär.

Pružin manometrleri kadalara laýyklykda ýylda 1 gezek barlanylýar. Sebäbi wagtyň geçmegi bilen pružin manometrlerinde galyndy deformasiýalar peýda bolýar. Manometrleriň barlagyny iş ýerinde ýa-da tejribehanalarda geçirilip bolýar. Manometrleriň iş ýerinde barlagy üç çykalgaly kranyň kömegi bilen geçirilýär. Başda barlag edilýän manometr çykalganyň bir tarapyna birikdirilip atmosfera basyşynda “O’’ ýeriniň belligi barlanylýar. Soňra kranyň ikinji çykalgasyna kadaly ýagdaýda işleýän barlag manometri birikdirilýär we krany açyp işçi basyşda manometriň we barlag manometriň görkezijileri alnyp protokola ýazylýar. Iş ýerinde manometriň

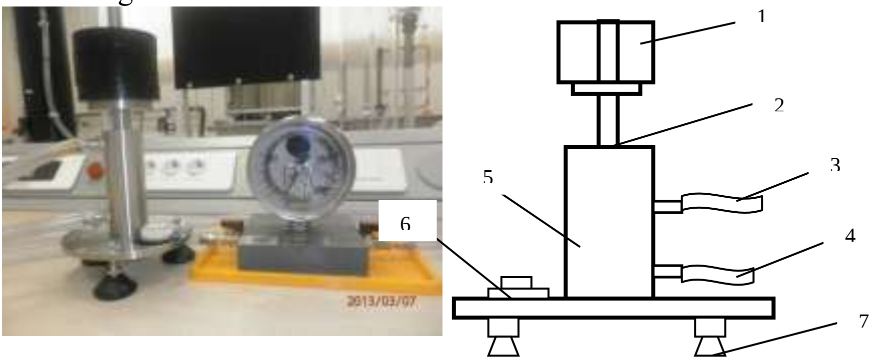


2.57–nji surat. Pružin manometriniň gurluşy: 1–manometriň daşgy gaby; 2–bir tarapy ýapyk latun, mis ýa-da polat materiýalyndan ýasalan egri pružin häsýetli turbajyk; 3–hereketlendiriji eginli (ryçakly) mehanizm; 4–basyşyň ölçeg edilýän ýerine birikdiriji ştuser; 5–görkeziji strelka; 6–sanlar şkalasy.

barlagy diňe 2 basyş ölçeginiň netijeleri boýunça geçirilýär ‘‘O’’ we işçi basyş şkalasynyň görkeziji ululyklary boýunça. Tejribehanalarda pružin manometrleriniň barlagy agram usuly ýa-da nusgalyk pružin manometri bilen deňeşdirme esasynda nurbatly gidrawliki presige geçirilýär.

Tejribe guralynyň häsýetnamasy

Pružin manometrini agram usulunda barlamak üçin niýetlenen F1 – 11 agram kalibratory peýdalanýar. Agram kalibratorynyň daşgy görnüşi we gurluşynyň çyzgysy 2–nji suratda görkezilen.



2.58-nji surat. F1-11 agram kalibratory:
1-agram daşlary; 2–piston; 3-drenaž turbajygy; 4–manometriň kalibratora birikdirilýän ýeri; 5–slindr; 6-spirt uroweni; 7–sazlaýjy esaslar.

Gysgaça nazary maglumatlar

Pistonyň we onuň üstine goýulan agram daşlarynyň täsiri netijesinde silindriň içindäki suwuklukda döreýän basyş aňlatma bilen hasaplanýar:

$$p = \frac{F}{\omega} \qquad (2.57)$$

Bu ýer-de:

p–silindriň içindäki suwuklukda döreýän basyş, *Pa* (ýa-da N/m^2)

F–silindirdäki suwukuga täsir edýän güýç, *N*

$$F=m \cdot g \qquad (2.58)$$

m –umumy massa, *kg*; $m=m_p+m_g$

m_p- pistonyň massasy, *kg*; m_g–agram daşynyň massasy, *kg*

g–erkin gaçmanyň tizlenmesi, m/s^2 (g=9,81 m/s^2)

ω–pistonyň kese-kesiginiň meýdany, m^2 :

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}, \qquad (2.59)$$

d–pistonyň diametri, *m*

Paskalyň kanunyna laýyklykda silindriň içingäki suwuklukda döredilýän goşmaça basyş suwukluk giňişliginiň hemme nokadyna deň ululukda geçýär we silindrde birikdirlen pružin manometri şol ululukdaky basyşy görkezmelidir.

Işiň ýerine ýetirlişiniň tertibi:

1. F1-11 kalibratory sazlaýjy diregleri bilen gorizontaltekizlikde sazlap getirmeli.
2. Atmosfera basyşynda manometriň strelkasy ‘‘O’’ ulylyk şkalasynda bolmaly.
3. Barlanýan manometr F1-11 kalibratory bilen birikidirmeli.
4. F1–11 kalebratory F1-10 gidrawliki gap bilen birikdirip suw bilen doldurmaly we kranlary ýapmaly.
5. Pistonyň massasy *m*=0,498 *kg*
6. Pistonyň diametri *d*=0,01767 *m*
7. Başda pistonyň üstine, 0,5 *kg* massaly daşy goýup ölçegleri we hasaplamalary geçirip 1–nji tablisa bellemeli.
8. Soňra şolar ýaly işleri 1,0 *kg* we 1,5 *kg* massa daşlaryny goýup geçirmeli.

1-nji tablisa

Manometriň agram usuly bilen barlagynyň ölçegleri we hasaplamalary

T/b	Ady	Ölçeg birligi	Belgisi	Ölçeg ýa-da hasaplama	Kesgitlenen ulylyk
1	Pistonyň massasy	*kg*	m_p	Ölçeg	0,498
2	Pistonyň diametri	*m*	d	Ölçeg	0,01767
3	Pistonyň kese-kesiginiň meýdany	m^2	ω	Hasaplanýar	$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$
4	Agram daşynyň massasy	*kg*	m_g	Ölçeg	
5	Umumy massa	*kg*	m	Hasaplanýar	$m=m_p+m_g=$
6	Barlanýan pružin manometriň görkezýän ululygy	kN/m^2, kPa	G	Ölçeg	
7	Silindirdäki basyş	kN/m^2, kPa	p	Hasaplanýar	$p = \frac{mg}{\omega}$
8	Barlanýan pružin manometriň berýän absolýut ýalňyşlygy	kN/m^2, kPa	$\mathcal{E}$	Hasaplanýar	$\mathcal{E} = G - p$
9	Pružin manometriniň % berýän ýalňyşlygy.	%	$\mathcal{E}$	Hasaplanýar	$\mathcal{E}_{\%}=\frac{G-p}{p}\cdot 100 =$

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1.Pruzinli manometrleriň görnüşleri.
2.Etalon (nusgalyk) manometr näme üçin gerek?
3.Manometriň takyklygy hähili kesgitlenýär?
4. Pruzinli manometrleriň gurluşy we işleýiş usuly.

Edebiýatlar

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.

2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.

3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.

4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Pressure Measurement and calibration Boyle’s Law. Instruction Manual TH2, 2012, 53p.

5. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Dead Weight Calibrator. Instruction Manual F1-11, 2011, 20p.

III BAP.

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 seredilýarler.

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

$$P=P_{st}+P_{din} \tag{3.1}$$

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:

$$\begin{aligned} P&=f\,(x,y,z,t)\\ U&=f\,(x,y,z,t) \end{aligned} \tag{3.2}$$

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

$$\overline{U=\overline{U_x}}+\bar{U}_y+\bar{U}_z \tag{3.3}$$

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

$$\begin{aligned} U_x&=f\,(x, y, z, t)\\ U_y&=f\,(x, y, z, t)\\ U_z&=f\,(x, y, z, t) \end{aligned} \tag{3.4}$$

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:

$$P=f\,(x, y, z)$$
$$U=f\,(x, y, z) \tag{3.5}$$

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.

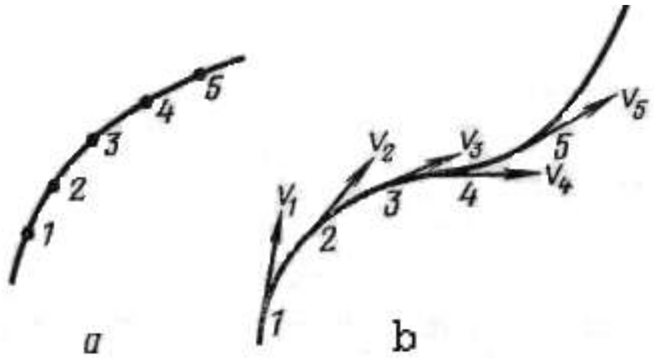
Durnuksyz hereketde akymyň islendik nokadynda basyş we tizlik wagta görä üznüksiz üýtgär. Durnuksyz herekediň mysaly hökmünde suwuklykdan doldurylan rezerwarlaryň deşikler ýa-da turbalar arkaly akdyrylyp boşadylşyny görkezmek bolar. Herekediň lominar we turbulent görnüşleri olaryň akyş kadalaryna akymlaryň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

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 <u>akymyň gidrawliki radiusy</u> 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 $\mathrm{R} = \frac{\mathrm{bh}}{\mathrm{b+2h}}$

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

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

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

$$G = \rho g Q, \quad \frac{N}{s} \qquad (3.13)$$

$$M = \rho Q, \ \frac{kg}{s}; \ \frac{kg}{sag} \qquad (3.14)$$

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

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

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

$$Q = \frac{Q}{\omega} \tag{3.16}$$

ýa-da

$$Q = \omega\vartheta \tag{3.17}$$

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:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\vartheta \tag{3.18}$$

ýa-da

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\vartheta}} \tag{3.19}$$

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:

$$K_{hm} = \alpha^I M\vartheta = \alpha^I \rho Q\vartheta \tag{3.20}$$

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

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.

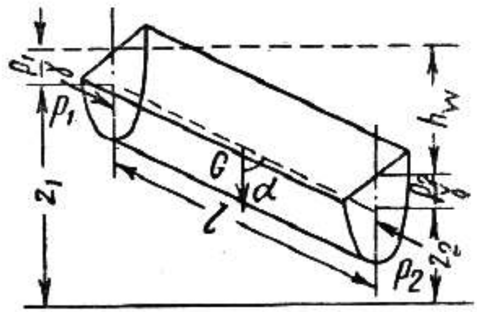
Bu babatda suwuklyk we gaz akymlary aşakdaky böleklere bölünýärler:

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 ýa-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

$$G_s = \rho g_s Q \qquad (3.22)$$

bu ýerde

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

Çyzgydan görnüşi ýaly

$$g_s = g \sin \alpha \qquad (3.23)$$

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

Akymyň eňňitlik burçuny öz gezeginde aşakdaky görnüşde aňladyp bolar, ýagny

$$\tan\alpha = \frac{z_1 - z_2}{l}; \qquad (3.24)$$

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:

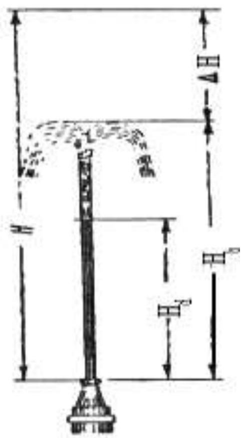
$$H = H_b + H_d + \Delta H \tag{3.29}$$

bu ýerde

H_b –bütewi (jebis) çüwdürimiň beýikligi

H_d – çüwdürimiň dargaýan böleginiň beýikligi

ΔH – çüwdürimiň "ýitýän" böleginiň beýikligi.

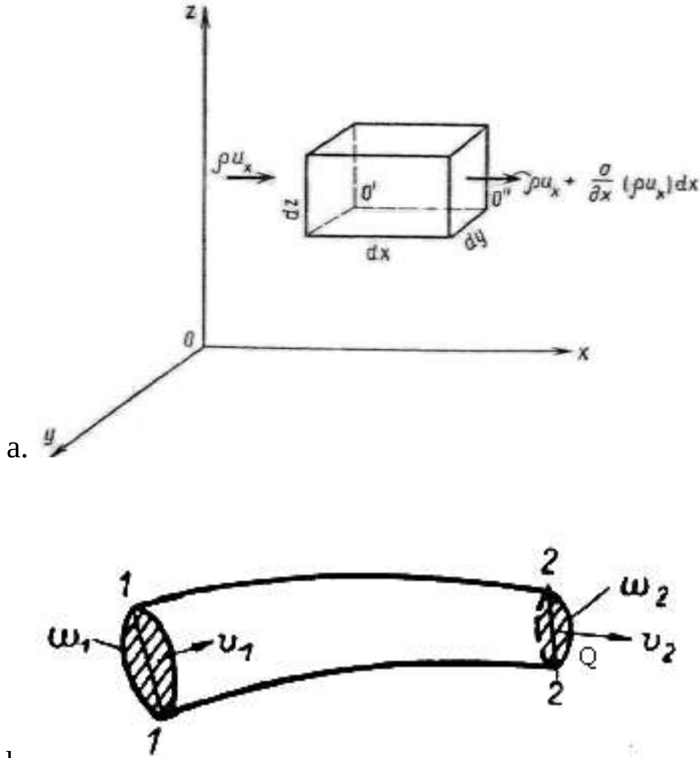


3.4-nji surat

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.



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

$$dM_y = -\rho\frac{\partial\vartheta_y}{\partial y}dx\,dy\,dz \qquad (3.30)$$

$$dM_z = -\rho\frac{\partial\vartheta_z}{\partial z}dx\,dy\,dz$$

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

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

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

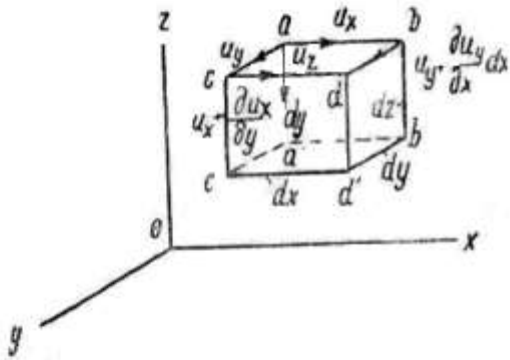
$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \qquad (3.34)$$

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

$$d_1 = d_2 \sqrt{\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}}$$ 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-njy surat) elementar bölejigiň hereketiniň deňagramlygyna 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 ulylyklara köpeldip olary dikligine agzalaryň fiziki manylary boýunça goşalyň:

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

; (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:

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

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 $dF = F_z dz = -g dz$ 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 ulylykdygyny 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 ulylygy.

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

$$E = \int_{\omega} dE \qquad (3.42)$$

(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:

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

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:

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

ýa-da

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

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

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

$$e_P = \frac{E_P}{\rho g Q} = z + \frac{P}{\rho g} \qquad (3.47)$$

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

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

$$e_p = \frac{E_k}{\rho g Q} = \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} \tag{3.49}$$

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:

$$e = e_p + e_k = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} \tag{3.50}$$

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:

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

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:

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

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

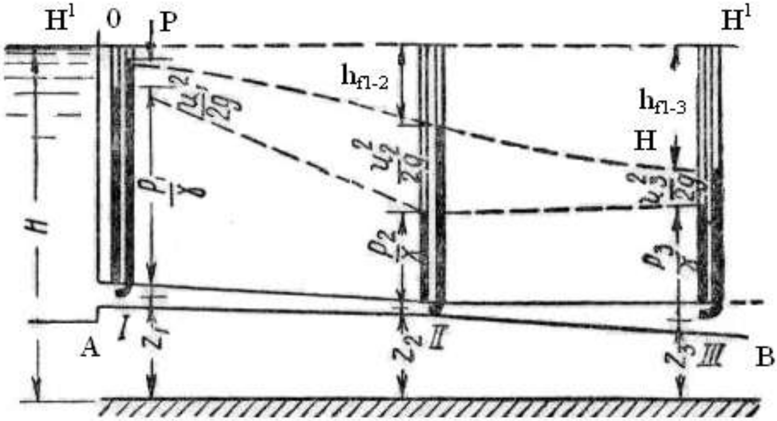
$$gz_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2} = gz_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2^2}{2} + \frac{\Delta P_{f1-2}}{\rho} \tag{3.53}$$

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.

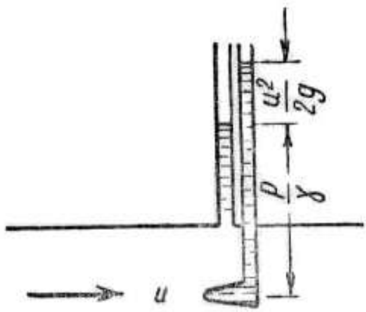
3.7. Bernulliniň deňlemesiniň manysyny düşündirmek

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 ΔH_{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:

$$H_1=H_2+h_{f1-2}=H_3=const \tag{3.55}$$

bu ýerde

H_1, H_2, H_3 – degişli kesiklerde akymyň doly beýiklikleri.

H_{f1-2}, h_{f1-3} – 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.

$$E_{P.Z} = MgZ = \rho QgZ \tag{3.56}$$

Akymyň P ululykly içki statiki basyşynyň döredýän potensial energiýasy:

$$E_{P.P} = PQ \tag{3.57}$$

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:

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

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 <u>akymyň energetiki balansynyň deňlemesi</u> 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, $i_{1-2} = \frac{(e_1 - e_2)}{e_{1-2}}$

Δe – 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.

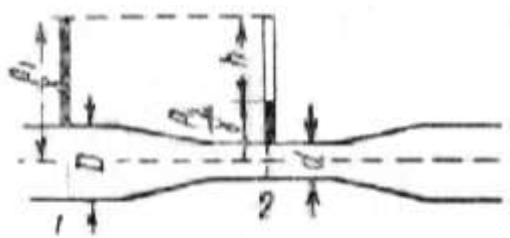
Şeýlelikde, durnukly (deňölçegli, durnuksyz deňölçegli) hakyky suwuklyk akymlary üçin Bernulliniň deňlemesi, akymyň islendik kesiginde doly naporyň (basyşynyň) ululygyny kesgitleýär. Şeýlilikde bu deňleme akymyň hereket ugruna onuň doly naporynyň (basyşynyň) azalýandygyny, ýitýän naporyň (basyşyň) ulalýandygyny 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:

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

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

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

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

Onda Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşe geler:

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

Soňky deňlemeden ϑ_1 tizligiň ululygy kesgitleniler:

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

Onda akymyň Q mukdar ululygy üçin aşakdaky hasaplama formulasy alynar:

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

(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:

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

ýa-da

$$Q = \mu K\sqrt{h} \qquad (3.66)$$

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:

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

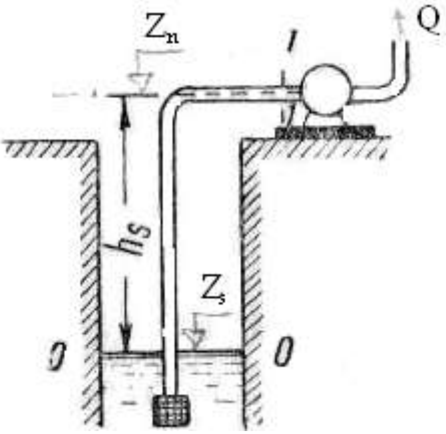
Sorujy nasosyň okunyň geodeziki belgisini kesgitlemek

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.

3.10-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, $H_\vartheta = 6.8$m. 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. 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:

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

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

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

Kinematiki meňzeşlik 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:

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

$$\frac{\vartheta_n}{\vartheta_m} = M_\vartheta \qquad (3.72)$$

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

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:

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

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:

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

(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 <u>Nýutonyň kriteriýasy</u> 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

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

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

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:

$$N_u = f(Re; Fr) \qquad (3.79)$$

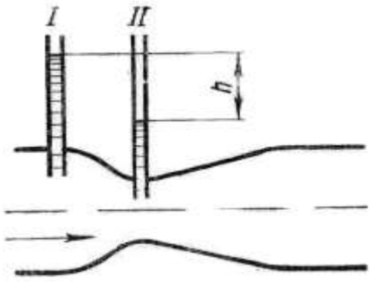
3.10. 3-nji baba degişli amaly mysallar

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.

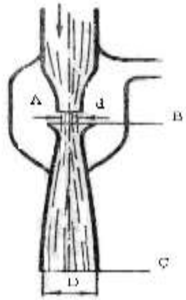
4. Diametri D=250mm bolan suw geçiriji turba d=12sm diametrli daralýan bölejik çatylan (3.11-njy surat)



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.

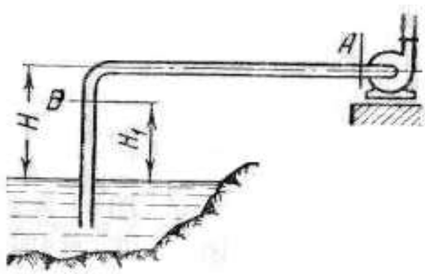
5. 3.12-nji suratda şekillendirilen suw çüwdürimli nasosyň A sorujy giňişliginde döreýän H_{ϑ} wakuumetrik naporyň ululygyny simap beýikliginde kesgitlemeli.



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.

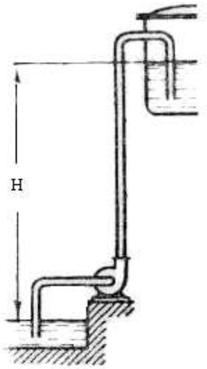


3.13-nji surat

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.

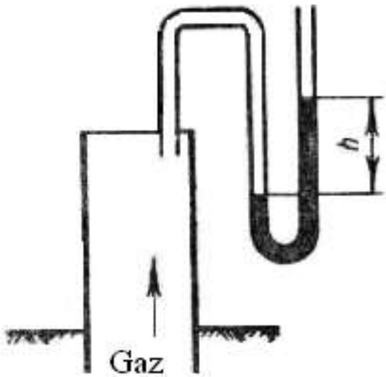
7. Nasos açyk howuzdan mukdary Q=12$\frac{m^3}{sag}$ bolan suwy H=80m beýiklikde ýerleşen içi $P_2 = 3.0\frac{kG}{sm^2}$ artykmaç basyşly ýapyk rezerwuardan akdyrýar (3.14-nji surat).



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.

3.11. Bernulliniň deňlemesiniň geometriki manysy, geometriki, pýezometriki, tizlik naporlaryny we turbalarda naporyň gidrawliki ýitgilerini tejribe esasynda ölçemek diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň aksady: Dürli kese-kesigi bolan turbada suwuklygynyň hereketiniň mysalynda Bernulliniň deňlemesini öwrenmek we geometriki, pýezometriki, tizlik naporlaryny we turbalarda basyş naporyň gidrawliki ýitgilerini tejribe esasynda ölçemek.

Tema boýunça gysgaça nazaryýet maglumatlary

Bernulliniň deňlemesi suwuklugyň durnukly hereketinde akymyň orta tizligi bilen gidrodinamiki basyşy we basyşyň ýitgilerini özara baglaşdyrýan deňlemedir.

Real suwukluk üçin Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$z_1 + p_1/\rho g + \alpha_1 \upsilon_1^2/2g = z_2 + p_2/\rho g + \alpha_2 \upsilon_2^2/2g + h_{1\text{-}2} \quad (3.79)$$

Bu deňlemäniň hemme agzalary uzynlyk birliginde ölçenýärler. Şonuň üçin hem olaryň her birini şeýle atlandyryp bolar:

z_1 we z_2 – 1-1 we 2-2 kesimlere degişli geometriki naporlary, başgaça aýdanymyzda deňeşdirme tizlikde akymyň kese-kesiginiň merkezine çenli bolan dik aralyklar, *m*;

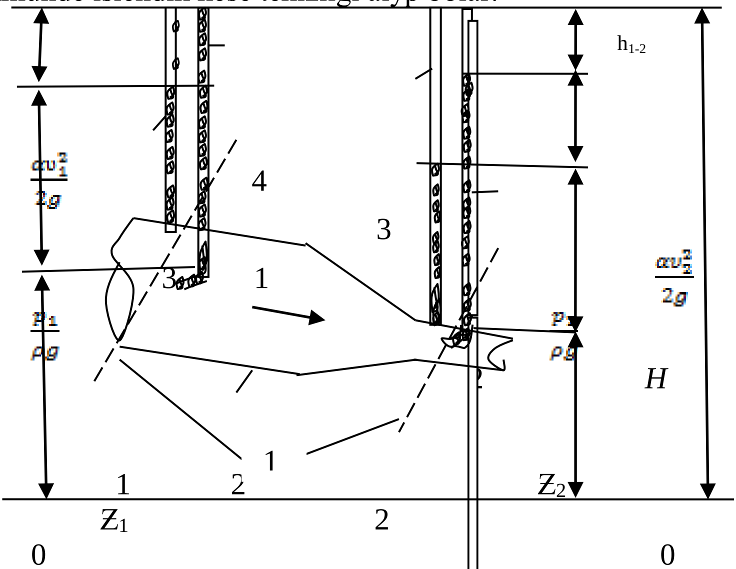
$p_1/\rho g$ we $p_2/\rho g$ – kesimlerde pezometriki basyş naporlary, başgaça aýdanymyzda akymyň kese-kesiginiň merkezinden pezometrdäki (aýna turbajykdaky) suwukklugyň üstüne çenli bolan dik aralyklar, *m*

$\alpha_1 \upsilon_1^2/2g$ we $\alpha_2 \upsilon_2^2/2g$ – kesimlerde tizlik naporlary, *m*. Bu ululyk Pitonyň napor turbajygy bilen pezometrik turbadaky suwuklugyň beýiklikleriniň aratapawydyna deňdir.

$h_{1\text{-}2}$- naporyň umumy ýitgisi, *m*

Birinji deňlemeden görnüşi ýaly, durnukly akymda ýokarda agzalan dört beýikligiň jemi akymyň uzaboýyna üýtgemän galýan ululygydyr.

Bernulliniň deňlemesiniň geometrik manysyna bolan düşünjäni çuňlaşdyrmak üçin aşakdaky çyzga ýüzleneliň. Çyzgyda dürli kese-kesigi bolan suwukluk geçiriji turba şekillendirilen. Turbanyň ýogyn we inçe ýerlerinde 1-1 we 2-2 kesikleri bellenen. Kesiklerde akymyň tizligi υ_1 we υ_2, gidrodinamiki basyş bolsa p_1 we p_2 belgiler bilen bellenen. Deňeşdirme tekizlikden kesikleriň merkezine çenli bolan dik aralyklary z_1 we z_2 bilen bellenen. Deňeşdirme 0-0 tizlik hökmünde islendik kese tekizligi alyp bolar.



3.16-njy surat: 0-0 -deňeşdirme tizligi:
1-kese kesikleriň geçirilýän ýerleri; 2- dürli kese-kesigi bolan turba; 3-pezometr; 4-Pitonyň turbajygy

Eger-de biz bellenilen kesiklerde pezometr hem-de Pitonyň turbajygyny birleşdirsek, onda gidrodinamiki basyşyň täsiri esasynda suwuklyk pezometr boýunça p/ρg beýiklige galar. Pitonuň turbajygynyň aşaky ujy akymyň tizlik wektorynyň garşysyna tarap egilen we kesigiň merkezinde ýerleşdirlen.

Pitonyň turbajygynda akymyň kinetik energiýasy potensiýal energiýa öwrülýär. Şonuň üçin bu turbajykda suwuklygyň derejesi pezometrdäki suwuklygyň derejesinden $\alpha\upsilon^2/2g$ – tizlik naporyň möçberine uly bolar. Eger-de iki kesigiň arasyndaky basyş naporyň ýitgisini h_{1-2} (ujypsyzlygy üçin) hasaba almasak onda iki kesikdäki üç beýikligiň jemleri özara H ululyga (doly basyş naporyna) deň bolar (1-nji surata serediň).

Ýokarda agzalan kesgitleme Bernulliniň deňlemesiniň geometriki manysyny aňladýar. Şu ýerde ýene bir zady belläp geçmek zerurdyr, ýagny akymyň islendik ýerinde onuň doly basyş napory üç beýikligiň jemine deňdir.

Tejribe işini geçirmek üçin ulanylýan gurallaryň häsýetnamasy

Tejribe işlerini geçirmek üçin “Armflid” komponiýasynyň inženerçilik okuw enjamlary ulanylýar.

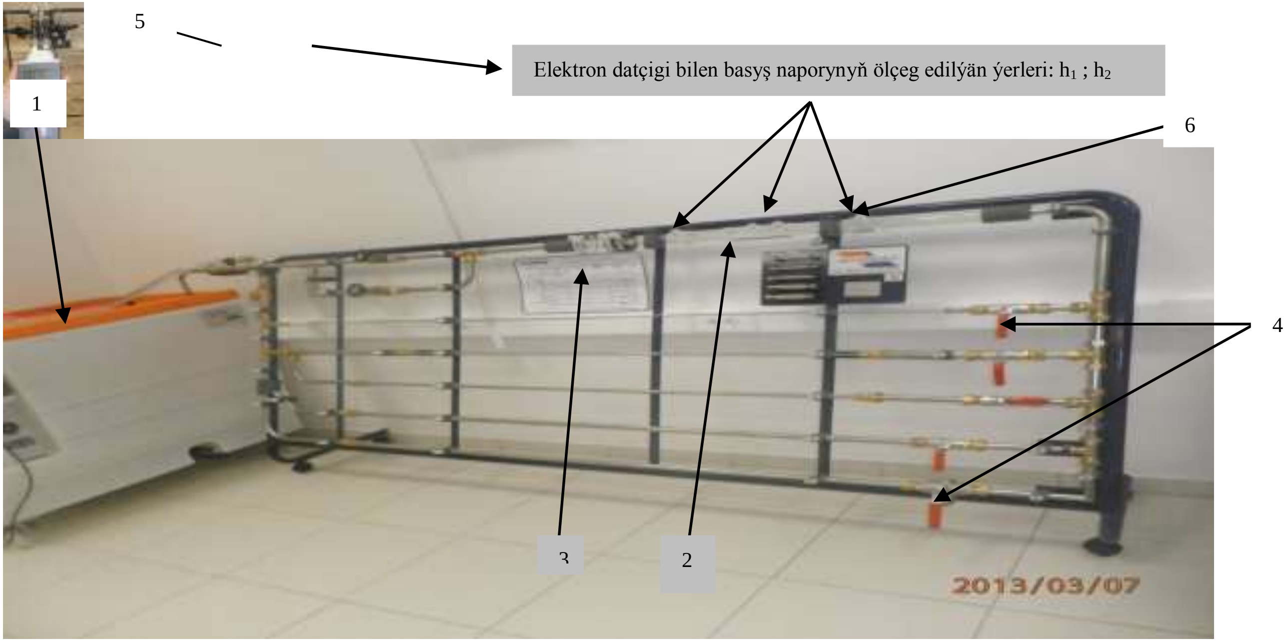
Turbalardaky suwukluk hereketinde emele gelýän basyş naporynyň gidrawliki ýitgilerini öwrenmek üçin niýetlenen “Armflid” komponiýasynyň inženerçilik okuw enjamlarynyň daşgy görnüşi we esasy bölekleriniň çyzgysy 2-nji suratda görkezilen.

$$H = z+p/\rho g + \alpha\upsilon^2/2g$$

Pýozemetrlerdäki suwuklaryň üstünden geçirilen çyzyga pýezometrik çyzgy diýilýär. Iki kesikdäki pýezometrik naporlaryň tapawudynyň pýezometrleriň aralygyna bolan gatnaşygyna pýezometriki eňňitlik diýilýär.

Pitonyň turajyklaryndaky suwyklyklaryň üstünden geçilen çyzga doly basyş napor çyzgy diýilýär. Iki kesikdäki doly naporlaryň tapawydynyň kesikleriň aralygyna bolan gatnaşyga gidrawliki eňňitlik diýilýär.

Kese kesikleriň ululygyna baglylykda pýezometrik eňňitlik otrisatel ýa-da položitel bolup biler. Gidrawliki eňňitlik diňe položitel bolup biler.



3.17-nji surat. C6-MK 11-10 okuw enjamyň daşky görnüşi: 1- Gidrawliki gab; 2-Wenturiniň mukdar ölçeýji guraly; 3- Diafragma mukdar ölçeýji guraly; 4- Klapan, wentil; 5- Pýezometriki basyşy ölçemek üçin elektron datçigi; 6- tizlik naporyny ölçemek üçin niýetlenen Pitonyň turbajygy.

Bernulliniň deňlemesiniň geometrik manysyny düşündürmek üçin niýetlenen tejribe desgasy gidrawliki gapdan, kese kesigi dürli bolan turbalardan we suw mukdaryny sazlaýjy hem-de ölçeýji gurallardan ybaratdyr. Turbanyň üç ýerinde 1-1, 2-2 we 3-3 kesikler bellenilendir. Şol kesiklerdäki pýezometrik naporlary ölçemek üçin elektron datçigi ulanylýar. Turbadaky akymyň tizligi turbanyň soňynda ýerleşen wentiliň kömegi bilen üýtgedilýär. Akymyň mukdary bolsa sekundometriň we ölçeg gabynyň kömegi bilen ölçenýär.

Tejribe işiniň ýerine ýetirlişiniň tertibi

1.Gidrawliki gapdaky pultdan nasosy işe girizmeli, suw berýän turbanyň wentilini açmaly we akdyryjy turbadan suw aşakky çelege guýulup başlaýança garaşmaly. Tejribäniň dowamynda turbalarda suw az mukdarda akyp durmaly we akym durnukly bolmaly.

2.Tejribe geçirilýän turba täsir edýän wentili bir azrak açmaly. Wentili açanymyzda turbadaky suw herekete geler we pýezometrdäki suwuň derejesi üýtgär.

3.Pýezometrdäki suwuň derejeleri durnukly bolandan soň, suw guýulýan gabyň deşigini klapanyň kömegi bilen ýapmaly. Gabyň gapdalyndaky aýna turbajykdaky suwuň derejesini bellemeli we sekundometriň kömegi bilen suwuň derejesiniň näçe wagtda belli bir ululyga çenli ulalýandygny kesgitlemeli. Şol bir wagytda pýezometriň gňrkezenlerini ýazmaly.

4.Tejribäniň maglumatlaryny 1-nji tablisada ýazmaly.

5.Tejribe geçirilýän turba täsir edýän wentiliň kňmegi bilen turbadaky suwuň tizligini üýtgedmeli we ýene-de 3-4 sany tejribe geçirmeli.

Tejribe geçirilip gutarandan soň naporly çelege suw berýän we kese-kesigi dürli bolan turbalardaky wentilleri ýapmaly.

Tejribede alnan maglumatlary hasaplamagyň tertibi

1. Aşakdaky berlen anlatma bilen akýan suwuň mukdaryny kesgitlemeli:

$$Q = V/t, \quad m^3/s$$

Bu ýerde: V – suw guýulýan gaba t wagtyň dowamynda guýlan suwuň göwrümi, m^3.

t- wagt dowamy, s

1. $\upsilon = Q/\omega$ formula bilen 1-1, 2-2 we 3-3 kesiklerde suwyň tizliklerini kesgitlemeli.

Bu formulada: ω– turbanyň kese kesiginiň meýdany, m^2

2. Her kesik üçin Reýnoldsyň sanyny hasaplamaly we şol kesiklerde akymyň hereket kadasyny kesgitlemeli. Akymyň hereket kadasynyň kesgitlenilişi indiki tejribe işinde görkezilen.

3. $h = \alpha\upsilon^2/2g$ aňlatma bilen tizlik naporyň beýikligini kesgitlemeli. Koriolisiň koeffisiýenti akymyň kadasyna bagly, akymyň kadasy laminar bolanda α = 2, turbulent bolanda bolsa α = 1,1.

4. $H = z + p/\rho g$ aňlatma boýunça kesiklerdäki pýezometrik napory kesgitlemeli we pýezometrik çyzygy gurmaly.

5. $H = z + p/\rho g + \alpha\upsilon^2/2g$ aňlatma boýunça kesiklerdäki doly napory kesgitlemeli we doly naporyň üýtgeýşini görkezýän çyzygy gurmaly.

3-nji tablisa

Tejribeleriň tertibi	**Hasaplamalar**	**1**	**2**	**3**
Suw guýulýan gaba t wagtyň dowamynda guýlan suwuň göwrümi, V, m^3.	-			
t- wagt dowamy, *s*				
Akymyň mukdary, m^3/s	$Q = V/t$			
Kesiklerdäki arta tizlik, *m/s*	$\upsilon_1 = Q/\omega_1$			
	$\upsilon_2 = Q/\omega_2$			
Reýnoldsyň sany	$Re_1 = Re_3 = \upsilon_1 d_1/\nu$			
	$Re_2 = \upsilon_2 d_2/\nu$			
Koriolisiň koeffisiýenti	α_1			
	α_2			
Kesiklerdäki tizlik naporlary, *m*	$h_1 = \alpha_1 \upsilon_1/2g$			
	$h_2 = \alpha_1 \upsilon_2/2g$			
Kesiklerdäki	$H_1^1 = Z_1 + p_1/\gamma$			

gidrostatiki naporlar, *m*	$H_2^1 = Z_2 + p_2/\gamma$			
Kesiklerdäki doly naporlar, *m*	$H_1 = Z_1 + p_1/\gamma + \alpha_1 \upsilon_1/2g$			
	$H_2 = Z_2 + p_2/\gamma + \alpha_2 \upsilon_2/2g$			
Kesikleriň arasyndaky napor ýitgileri, *m*	$h_{1\text{-}2}=H_1 - H_2$			

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1. Bernulliniň deňlemesiniň geometrik manysy nämeden ybarat?
2. Tizlik napory nähili kesgitlenilýär?
3. Hereket edýän suwukluguň doly napory nämä deň?
4. Gidrawliki eňňitlik näme?

Edebiýatlar

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.
2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.
3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.
4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Fluid Friction Apparatus. Instruction Manual C6-MKII-10, 2012, 36 p.

IV BAP.

GIDRAWLIKI
GARŞYLYKLAR WE NAPORYŇ ÝITGILERI

4.1. Gidrawliki ýitgileriň we garşylyklaryň 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:

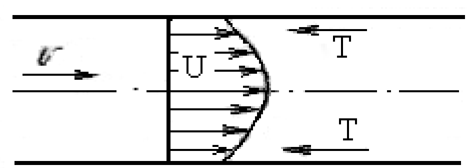
Birinjiden, bu güýç akymy we ony çäklendirýän gaty üstüň (turbanyň, kanalyň içki diwary) arasynda ululygy $S = \chi l$ (χ-akymyň öllenýän perimetri, l –akymyň uzynlygy) sürtülme meýdanynda döreýär hem-de diwaryň büdürsüdürligine we akymyň dinamiki häsiýetnamaryna baglylykda kesgitlenilýär.

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 otnesitelligine we üznüksizligine esaslanandyr. Hereketiň otnesitelligini akabanyň içki diwaryna görä suwuklyk (gaz) akymynyň otnositel 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 akym bilen akabanyň içki diwarynyň sürtülme üsti bilen gabat gelýär.

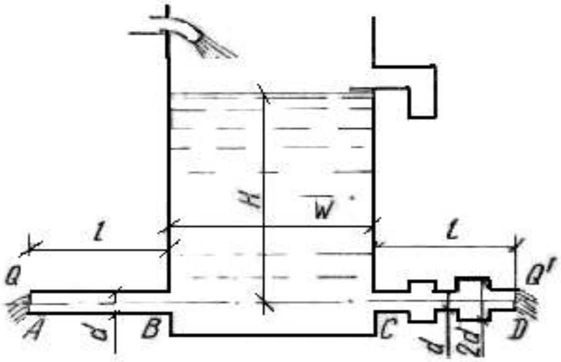


4.1-nji surat

Suwuklyk (gaz) akdyryjy ulgamlarda içki sürtülme güýjini döredýän garşylyga <u>uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygy</u> diýilip atlandyrylýar. Bu garşylyk akymlaryň uza boýuna deňölçegli paýlanýar. Akymlarda uzynlyk gidrawliki garşylygy ýeňip geçmek üçin sarp edilýän napora <u>naporyň uzynlyk sürtülme ýitgisi</u> 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 mesemälim 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 aýratynlygyny 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:

$$h = h_l \tag{4.1}$$

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:

$$h = h_l + h_ý \tag{4.2}$$

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,

ρ –akymyň dykyzlygy,

μ –akymyň şepbeşikligi,

ϑ –akymyň orta tizligi,

Δ –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:

$$h_{\acute{y}} = \zeta \frac{\vartheta^2}{2g} \tag{4.6}$$

(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:

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

Bu formulada

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

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 ulgamlarynda döreýän 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 bilen kesgitlenilýär. 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 deşiklerini gidrotehnikada bentleriň we gatlalaryň 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 $h_f = h_l + h_ý$. Oturtmalaryň we gysga turbageçirijileriň uzynlyk ölçegi “gysga” bolsada, olaryň ýerli garşylyklarynyň sanynyň hasabyna naporyň h_l we $h_ý$ ýitgileri deňeçer 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 we gazlary gaýtadan işlemek bilen baglanyşykly köpgörnüşli tilsimat desgalarynda, çüwdürim nasoslarynda, ežektor we inžektor gurluşlarynda giňden ulanylýar. Gysga turbageçrijileriniň mysallary hököminde 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 turbageçrijileriň akymlarynda naporyň ýitgisiniň iki görnüşiniň 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 ýa-da 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

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

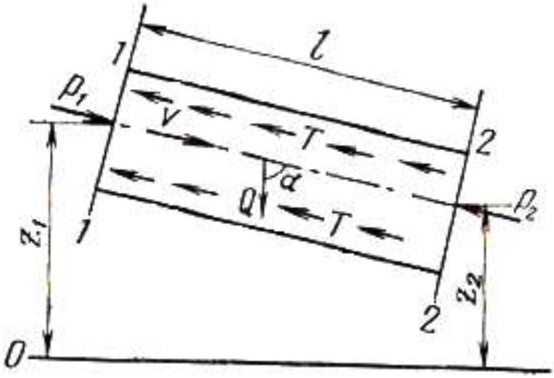
Magistral turbageçriji ulgamlarynyň mysallarynyň sanowyna Türkmenistanda hereket edýän “Orta Aziýa – Merkez”, “Türkmenistan – Hytaý” we “Türkmenistan – Eýran” halkara magistral gazgeçrijilerini, “Balkanabat – Türkmenbaşy”, “Hazar – Türkmenbaşy” we “Ýaşyldepe – Pelwert” magistral nebitgeçrijilerini, “Bereket – 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 otnositel hereketiniň (turbanyň içki diwaryna görä) netijesinde χl 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

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

(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 $T = \tau\chi l$ 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

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

Soňky (4.14) belgili deňlemede $\cos\alpha = \frac{Z_1 - Z_2}{l}$, τ –sürtülme garşylyk güýjiniň güýjenmesi, χ-akymyň ölleýän perimetri, $\chi = \frac{\omega}{R}$, R – akymyň gidrawliki radiusy, turbalardaky akymlar üçin $R = \frac{d}{4}$. 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:

$$h_e = \frac{\tau l}{\rho g R} \tag{4.16}$$

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:

$$\tau = \gamma R i \tag{4.17}$$

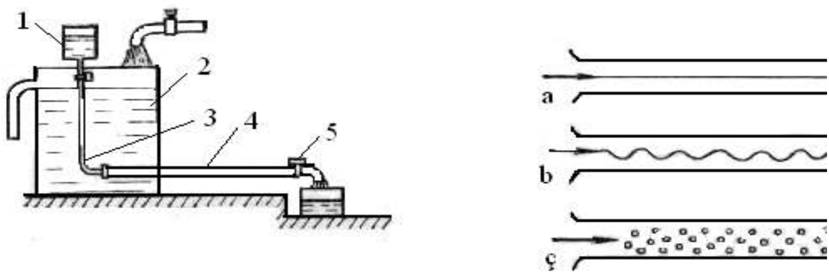
4.5. Suwuklyk akymlarynyň hereket kadalary

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 gös-göni baglanyşykdadyr.

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 döreýän içki garşylyk mehanizminiň düýpli tapawutlylygyndadyr. 4.4-nji suratda Reýnoldsyň tejribe desgasy hem-de onda alynan esasy netijeler şekillendirilen.



4.4-nji surat

Tejribe desgada suwly 2 gaba kese aýna turbasy 4 birleşdirilen. Turbadaky akymyň ϑ tizligini sazlamak üçin wentil 5 ulanylýar, akymyň hereket kadasy bolsa oňa turbajyk 3 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:

$$Re = \frac{\vartheta d}{\nu} \tag{4.18}$$

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 (şepbeşikliký) 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:

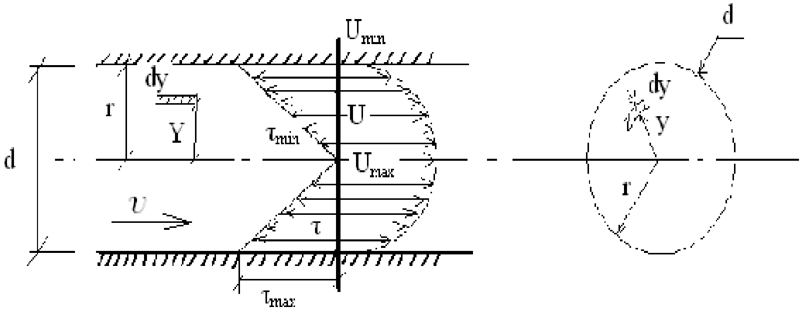
$$\tau = \gamma R i = \gamma \frac{r}{2} i = \frac{\gamma i}{2} y \qquad (4.20)$$

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 $\tau_{max} = \frac{\gamma i}{2} r$ 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:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \tag{4.21}$$

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, <u>akymyň ýerli tizlenmeleriniň</u> (gatlaklaryň ýa-da elementar çüwdürimleriň) <u>paýlanyş kanunyny</u> alarys:

$$-\mu \frac{du}{dy} = \frac{\gamma i}{2} y$$

Ýa-da du üçin aşakdaky differensial deňleme alynar:

$$du = -\frac{\gamma i}{2\mu} y dy \tag{4.22}$$

$$U = -\frac{\gamma i}{4\mu} y^2 + c \tag{4.23}$$

Integralyň c hemişeligi y=r bolanda akymyň iň soňky, turbanyň içki gaty diwaryna “ýelmeşen” gatlagynyň tizliginiň U_{min}=0 deňliginden kesgitlenerler, ýagny:

$$c = \frac{\gamma i}{4\mu} r^2 \tag{4.24}$$

Onda, akymy emele getirýän elementar gatlaklaryň tizlikleri üçin gidrogazodinamikanyň iňlis alymy Stoksyň ady bilen tanalýan ýerli tizlikleriň paýlanyşynyň paraboliki kanunynyň deňlemesi alynar:

$$U = \frac{\gamma i}{4\mu}(r^2 - y^2) \tag{4.25}$$

(4.24) belgili deňlemede y=0 bolanda

$$U = U_{max} = \frac{\gamma i}{4\mu} r^2 \tag{4.26}$$

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

$$U = U_{min} = 0 \tag{4.27}$$

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:

$$Q = \frac{\gamma i}{8\mu} \pi r^4 \tag{4.28}$$

Akymyň orta tizliginiň ululygy üçin alynar:

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{\gamma i \pi r^4}{8\mu\pi r^2} = \frac{\gamma i}{8\mu} r^2 \qquad (4.29)$$

(4.25) we (4.28) aňlatmalarynyň gatnaşygyndan ϑ hem-de U_{max} tizlikleriň özara gatnaşygyny alarys, ýagny:

$$\frac{U_{max}}{\vartheta} = \frac{\gamma i r^2 8\mu}{4\mu\gamma i r^2} = 2 \qquad (4.30)$$

Diýmek, laminar kadaly akymly turbalarda akymyň orta ϑ tizligi, onuň maksimal ýerli U_{max} tizliginiň ýarysyna deňdir:

$$\vartheta = \frac{U_{max}}{2} \qquad (4.31)$$

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:

$$\alpha = 2 \qquad (4.32)$$

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

$$h_e = \frac{32\nu l\vartheta}{g\, d^2} \qquad (4.33)$$

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:

$$h_e = \frac{32\nu l\vartheta}{g\, d^2} \cdot \frac{2\vartheta}{2\vartheta} = \frac{64\nu}{\vartheta d} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (4.34)$$

Hem-de

$$\frac{64\nu}{\vartheta d} = \frac{64}{Re} = \lambda \qquad (4.35)$$

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.

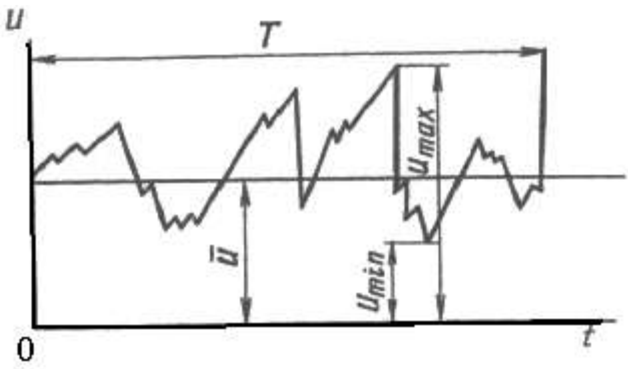
4.7. Turbulent kadaly deňölçegli hereketiň gidrawliki häsiýetnamalary

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,

$$+U = U - \bar{U}$$

$-U_P$ – otrisatel pulsirleme tizligi

$$-U_p = \bar{U} - U$$

$+U_{Pmax}$ – maksimal položitel pulsirleme tizligi

$$+U_{P\,max} = U_{max} - \bar{U}$$

Upmax – maksimal otrisatel pulsirleme tizligi

$$-U_{P\,max} = U_{min} - \bar{U}$$

$\bar{U}$ - ýerli orta tizlik ýa-da turbulent akymyň berlen nokadyndaky orta tizlik.

$$\bar{U} = \frac{\int_0^T udt}{T} \tag{4.36}$$

Bu ýerde

T – ölçeg ýa-da gözegçilik wagt aralygy

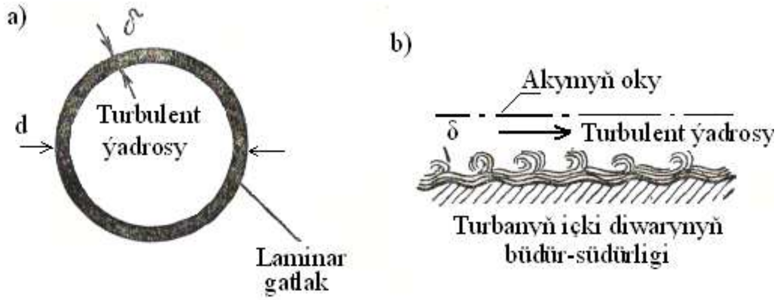
Turbulent akymyň ýerli tizliginiň wagta görä üýtgeme U=f(t) grafiginde görnüşi ýaly, U hakyky ýerli tizligiň tertipsiz kadada üznüksiz üýtgemesine garamazdan, onuň $\overline{U}$ orta görkezijisi dowamly T wagt aralygynda hemişelik ululykda saklanýar. $\overline{U}$ orta tizligiň koordinatynyň çyzygy 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:

$$\delta = \frac{30 \cdot \nu}{\vartheta\sqrt{\lambda}} = \frac{30 \cdot d}{Re\sqrt{\lambda}} \qquad (4.37)$$

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:

$$\tau = \tau_l + \tau_T \qquad (4.38)$$

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:

$$\tau_\gamma = \mu \frac{du}{dy} \qquad (1.25)$$

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:

$$\tau_T = \rho l^2 \left(\frac{du}{dy}\right)^2 = \rho \chi^2 y^2 \left(\frac{du}{dy}\right)^2 \qquad (4.39)$$

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:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} + \rho \chi^2 y^2 \left(\frac{du}{dy}\right)^2 \qquad (4.40)$$

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:

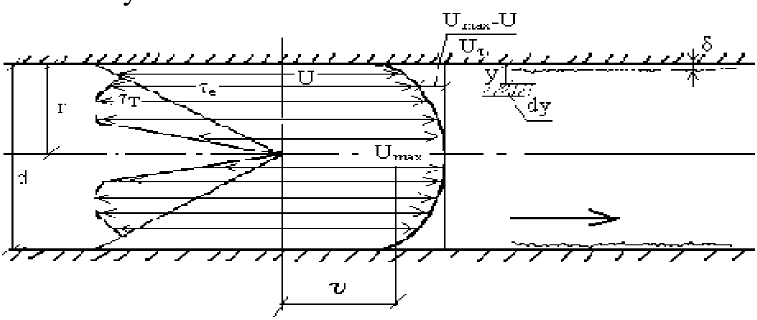
$$\tau = \tau_T = \varepsilon \frac{du}{dy} \tag{4.41}$$

Bu ýerde

$$\varepsilon = \rho \chi^2 l^2 \frac{du}{dy} \tag{4.42}$$

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:

$$\tau_T = \rho\chi^2 l^2 (\frac{du}{dy})^2 \tag{4.43}$$

Bu ýerde du üçin aşakdaky deňlemäni alyp bolar:

$$du = \frac{1}{\chi}\sqrt{\frac{\tau_T}{\rho}} \cdot \frac{dy}{y} \tag{4.44}$$

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:

$$U_\tau = \sqrt{\frac{\tau_T}{\rho}} \tag{4.45}$$

Onda (4.42) belgili deňleme aşakdaky görnüşe geler:

$$dU = \frac{U_\tau}{\chi} \cdot \frac{dy}{y} \tag{4.46}$$

Bu deňlemäni integrirleýäris:

$$U = \frac{U_\tau}{\chi} l_n y + c \tag{4.47}$$

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:

$$U_{max} = \frac{U_\tau}{\chi} l_n r + c \tag{4.48}$$

Ýa-da

$$c = U_{max} - \frac{U_\tau}{\chi} l_n r \tag{4.49}$$

Integraly c ululygyny (4.45) belgili deňlemede ýerine goýup, turbulent hereket kadaly durnukly we deňölçegli akymlarda ýerli tizlikleriň paýlanyş kanunyny alarys:

$$U = U_{max} - \frac{U_\tau}{\chi} l_n \frac{r}{y} \tag{4.50}$$

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:

$$\frac{U_{max} - U}{U_\tau} = \frac{1}{\chi} l_n \frac{r}{y} \tag{4.51}$$

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:

$$\frac{U_{max} - U}{U_\tau} = 2.30 \cdot l_n \frac{r}{y} \qquad (4.52)$$

Turbulent hereket kadaly turbageçirijileriniň basyşly akymlarynda akymyň orta tizliginiň y (diwara çenli bolan aralygy) koordinaty:

$$y = 0.223 \cdot r \qquad (4.53)$$

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:

$$\frac{U_{max}}{\vartheta} = 1 + 1.3 \cdot \sqrt{\chi} \qquad (4.54)$$

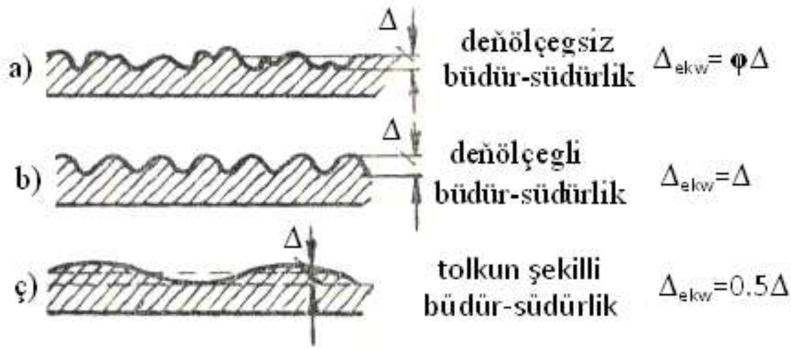
$$\alpha = 1 + 2.65 \cdot \chi \qquad (4.55)$$

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:

$$\vartheta = (0.80 - 0.85) \cdot U_{max} \qquad (4.56)$$

$$\alpha = 1.05 - 1.10 \qquad (4.57)$$

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:

$$\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d}) \qquad (4.58)$$

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.

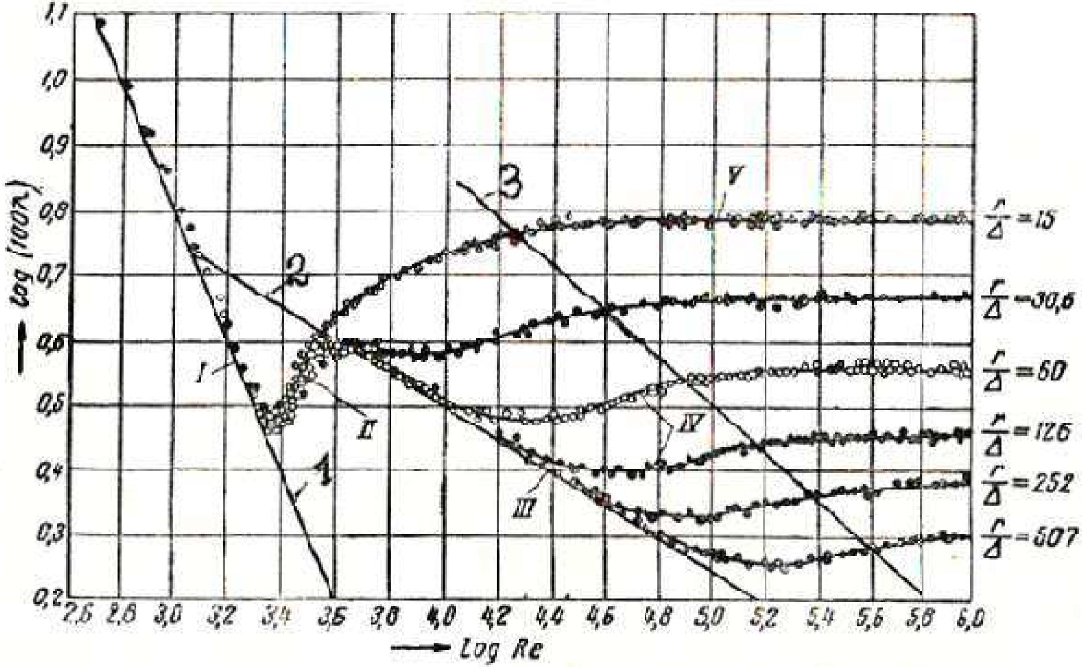
Derňelýän turbanyň uzynlygy gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy Darsiniň formulasy boýunça kesgitlenildi, ýagny:

$$\lambda = \frac{2gd}{l} \cdot \frac{h_e}{\vartheta^2} = \frac{2gd}{l\vartheta^2} \cdot \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right) \qquad (4.59)$$

λ ululyk üçin getirilen (4.58) belgili aňlatmadan tejribelerde gorizantal, deňölçegli hereketli, basyşly suw akymly turbalaryň ulanylýandygy belli bolýar.

I.1. 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.

I.2. 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 $Re=0\text{-}3\cdot10^6$ $\Delta_{ekw} = 0{,}0625 - 2{,}5$mm, d=50-300mm çäklerde takyk kesgitledi. Nikuradzeniň tejribeleriniň we grafikleriniň 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.



4.10-njy surat

I.Nikuradzeniň $\lambda = f(Re; \frac{r}{\Delta})$ tejribe derňewleriniň netijesi

I. 3. laminar garşylyk zolagy. Bu zolakda Re=0-2000 aralyklarda üýtgeýär, ähli turbalaryň we büdür-südürlikleriň $\lambda = f(Re; \frac{r}{\Delta})$ 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 $\lambda = f(Re)$
balaşyk boýunça kesgitlenilýär. Turbageçirijiniň gidrawliki sürtülme koeffisiýentini aşakdaky Puazeýliň formulasy boýunça kesgitlenilär:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \qquad (4.34)$$

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 $\lambda = f(Re)$
baglanşyk esasynda kesgitlenilýär.

Gidrawliki hasaplamalarda ýylmanak sürtülme garşylykly turbageçirijileri gidrawliki sürtülme koeffisiýentleriniň ululygy P.Blaziusyň hasaplama formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\mathrm{Re}^{0,25}} \tag{4.60}$$

Şeýlelikde III gidrawliki garşylyk zolakda F.A.Şewelewiň formulasy takyk netijeleri berýär:

$$\lambda = \frac{0.25}{Re^{0.226}} \tag{4.61}$$

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 $\mathrm{Re}=1\cdot10^4$-$6\cdot10^5$ çäklerde üýtgeýär.

Gidrawliki hasaplamalarda basyşly turbageçirijileriň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygy esasan A.D.Altşulyň uniwersal formulasy boýunça kesgitlenilýär:

$$\lambda = 0,11\left(\frac{\Delta_{ekw}}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0,25} \tag{4.62}$$

Reýnoldsyň sanynyň ýokary ululykdarynda ($1\cdot10^5<Re<6\cdot10^5$) Konakowyň formulasyny ulanmaklyk amatly hasaplanylýar:

$$\lambda = \frac{1}{(1{,}81\cdot \lg Re - 1{,}5)^2} \quad (4.63)$$

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:

$v\geq1{,}2$m/sek bolanda

$$\lambda = \frac{0{,}021}{d^{0{,}3}} \quad (4.64)$$

$v<1{,}2$m/sek bolanda

$$\lambda = \left(\frac{1{,}5\cdot10^{-4}}{d} + \frac{1}{Re}\right)^{0{,}3} \quad (4.65)$$

Şeýlelikde, soňky bäşinji garşylyk zolagyň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululygyny Prantdal-Nikuradzeniň formulasy boýunça kesgitlemeklik maslahat berilýär:

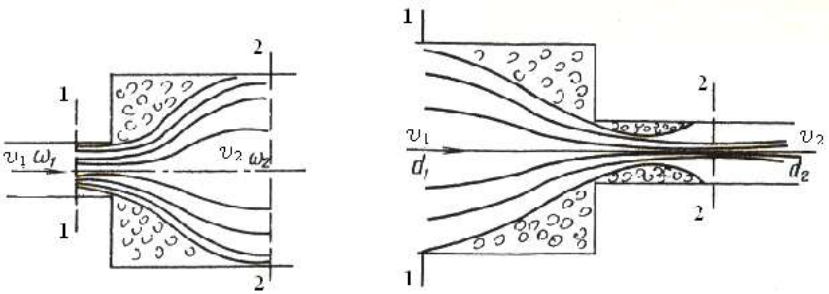
$$\lambda = \frac{1}{(1.74+2lg\cdot\frac{d}{2\Delta})^2} \qquad (4.66)$$

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.

4.8 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:

$$h_{b.g} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \tag{4.67}$$

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$$\neq \Delta v$ 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:

$$h_{b.g} = (1 - \frac{\omega_1}{\omega_2})^2 \cdot \frac{\vartheta^2}{2g} = (1 - \frac{d_1}{d_2})^2 . \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (4.68)$$

$$h_{b.g} = (\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1)^2 \cdot \frac{\vartheta_2^2}{2g} = (\frac{d_1}{d_2} - 1)^2 \cdot \frac{\vartheta_2^2}{2g} \qquad (4.69)$$

Bu ýerde:

$$\zeta_{b.g} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \frac{\vartheta^2}{2g} = \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)^2 \frac{\vartheta^2}{2g} \qquad (4.70)$$

$$\xi_{b.g} = (\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1)^2 \cdot \frac{\vartheta_2^2}{2g} = (\frac{d_1}{d_2} - 1)^2 \cdot \frac{\vartheta_2^2}{2g} \qquad (4.71)$$

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.

$$\xi_{d.g} = 0.5(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2})^2 \qquad 4.72$$

Eger-de $d_2<0,5d_1$ bolanda A.D.Altşulyň formulasyny ulanmaklyk has takyk netijäni berer:

$$\xi_{d.g} = \left(\frac{1}{0.57+\frac{0.043}{1.1\cdot\frac{d_2^2}{d_1^2}}}\right)^2; \tag{4.73}$$

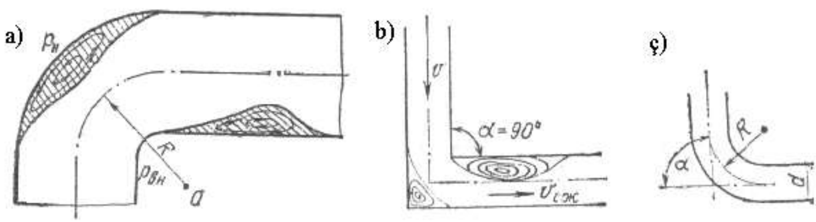
Aşakda, 4.2-nji tablisada turbageçirijileriň birden daralma ýitgisiniň gidrawliki garşylyk koeffisiýentiniň ululyklary Weýsbahyň tejribe arkaly alan netijeleri hököminde getirilýär.

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 $\alpha=0\text{-}180^o$ burç ululyklara üýtgedip bilerler hem-de standart tirsek (30^o, 45^o, 90^o) şekilli bolup bilerler 4.11-nji suratlarda turbalaryň öwrümleri şekillendirlen



4.12-nji surat

Turbageçirijileriň $\alpha=90^o$ 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:

$$h_{ö} = \zeta_{ö} \frac{\vartheta^2}{2g} \tag{4.74}$$

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:

$$\zeta_t^{90^o} = [0,2+0,001(100)^8]\sqrt{\frac{d}{R}} \qquad (4.75)$$

Tirsek öwrümleriň α burçy 90°-dan tapawutly ululyklarda bolanda, ýerli garşylyk koeffisiýentiniň ululygy aşakdaky görnüşde kesgitlenilýär:

$$\xi_T^{\alpha} = \xi_T^{90^o}\cdot K \qquad (4.76)$$

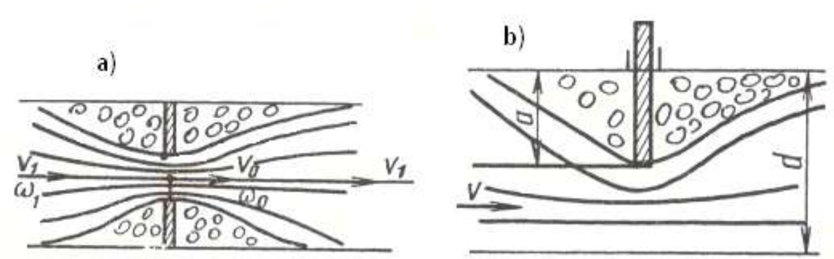
Bu ýerde

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.

4.9. 4-nji baba degişli amaly mysallar

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?

2. Içki diametrleri: 1 mm, 50 mm, 100 mm, bolan turbalardan $t=20^0C$-däki suw akanda suwyň kritiki tizligini kesgitlemeli?

3. Diametri d=150 mm turbadan şepbeşikligi BY=5 akýan nebititiň kritiki tizligini kesgitlemeli?

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?

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.

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.

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?

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?

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?

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?

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.

4.10. Suwukluk akymynyň hereket kadalaryny we Reýnoldsyň kritiki sanyny kesgitlemek diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň maksady: Suwukluk hereketiniň kadalaryny öwrenmek we Reýnoldsyň kritiki sanyny tejribe esasynda kesgitlemek.

Gysgaça nazary maglumatlar

Suwukluk akym kadalarynyň iki görnüşleriniň bardygy iňlis alymy O.Reýnolds tarapyndan tejribe esasynda kesgitlenildi. Olaryň birinjisi laminar (gat-gat diýen manyny berýän latyn sözi) hereketi we ikinjisi turbulent (tüweleý diýen manyny berýän latyn sözi) hereketli akym kadalarydyr. Reýnolds öz tejribelerini içi görünýän dürli diametrli aýna turbajyklarynda geçirdi. Suwukluk akymyna reňkli suwuklugy goşup dürli basyşda we tizlikde barlaglary geçiripO.Reýnolds akym kadasynyň şu aşakda bellelen suwukluk häsiýetnamalaryna baglydygyny kesgitledi:

1. Suwukluk akymyna ortoça tizligine, υ;
2. Suwuklugyň dykyzlygyna we şeppeşikligine, ýa-da kinematiki şeppeşiklik koeffisiýentine, v;

3. Turbanyň diametrne, *d*

Turbada suwukluklaryň akym kadalaryny kesgitlemek üçin Reýnolds ölçeg birligi bolmadyk sany kesgitlemek teklip etdi:

$$R_e = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu} \qquad (4.77)$$

Bu ýerde: R_e – Reýnoldsyň sany;

υ– turbadan akýan suwuklugyň ortaça tizligi, m/s;

d – turbanyň diametri, m;

ν – suwuklugyň kinematiki şeppeşiklik koeffisiýenti, m^2/s.

Suwuklugyň kinematiki şeppeşiklik koeffisiýenti tempratura baglylykda ütgeýär we 1–nji tablissada berilýär.

Laminar akymda reňkli suwukluk göni çyzyk boýunça hereket edip daş töweregindäki suwuklyk gatlary bilen garyşman akýar (1-nji "a" surat). Turbalarda laminar akym turbulent akym düzgünine geçýän şertlerinde Reýnoldsyň sany 2320 deň bolup Reýnoldsyň kritiki sany diýip atlandyrylýar we şu görnüşde bellenilýär $R_{ekr} = 2320$.

Eger-de 1–nji aňlatma bilen kesgitlenen san $R_e < R_{e\ kr}$ bolanda akym düzgüni laminar häsýetde bolýar, we tersine $R_e > R_{e\ kr}$ bolanda suwukluk akymy turbulent

kadada geçýär. Turbalar tegelek bolman başga şekilde bolan ýagdaýynda (mysal üçin dörtburç) Reýnoldsyň sany gidrawliki radiusyň üsti bilen hasaplanýar:

$$R_{eR} = \frac{\upsilon \cdot R}{\nu} \qquad (4.78)$$

Bu ýerde: R_{eR} - gidrawliki radiusuň üsti bilen hasaplanan Reýnoldsyň sany;

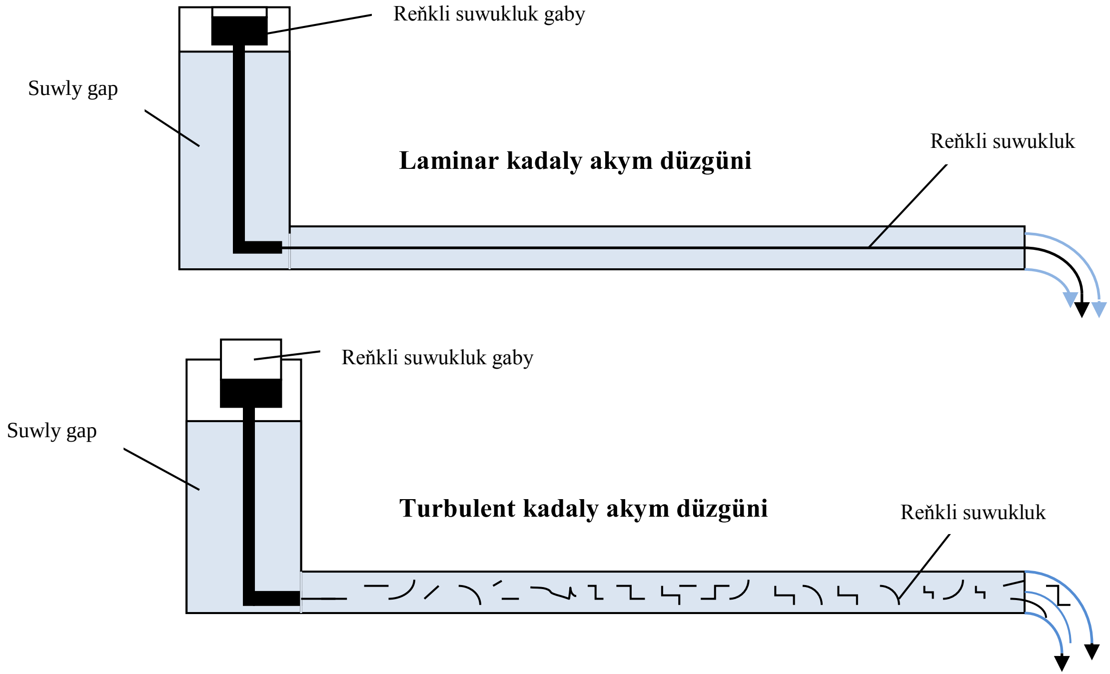
R - gidrawliki radius, *m*.

Gidrawliki radius aňlatma bilen hasaplanýar:

$$R = \frac{\omega}{\chi} \qquad (4.79)$$

Bu ýerde: ω – akymyň kese-kesiginiň meýdany.

χ - akumuň kese-kesiginiň öllenen perimetri, *m*



4.14-nji surat. Laminar we turbulent akymlaryň görnüşleri

1-nji tablisa

Adaty atmosfera basyş şertlerinde temпratura baglylykda suwuň kinematiki şepbeşiklik koeffisiýentleri

Tempratura (^oC)	Kinematiki şepbeşiklik koeffisiýenti, ν ($x10^{-6}$), m^2/s	Tempratura (^oC)	Kinematiki şepbeşiklik koeffisiýenti, ν ($x10^{-6}$), m^2/s
0	1,793	25	0,893
1	1,732	26	0,873
2	1,674	27	0,854
3	1,619	28	0,836
4	1,568	29	0,818
5	1,520	30	0,802
6	1,474	31	0,785
7	1,429	32	0,769
8	1,386	33	0,753
9	1,346	34	0, 738
10	1,307	35	0,724
11	1,270	36	0,711
12	1,235	37	0,697
13	1,201	38	0,684
14	1,169	39	0,671
15	1,138	40	0,658

16	1,108	45	0,602
17	1,080	50	0,554
18	1,053	55	0,511
19	1,027	60	0,476
20	1,002	65	0,443
21	0,978	70	0,413
22	0,955	75	0,386
23	0,933	80	0,363
24	0,911	85	0,342

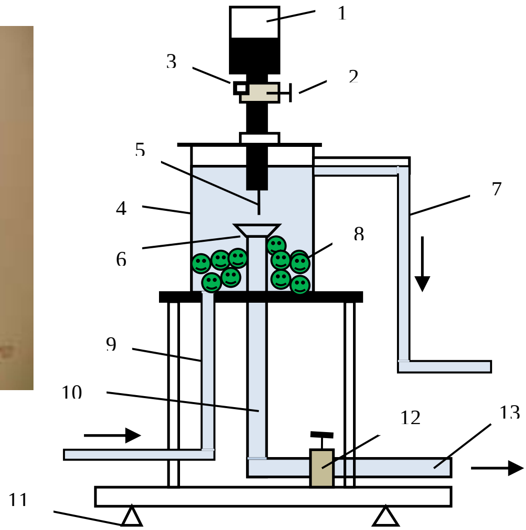
Gidrawliki radiusuň üsti bilen hasaplanan Reýnoldsyň kritiki sany $R_{eR\,kr} = \frac{R_{ekr}}{4} = \frac{2320}{4} = 580$ deň

Egerde: $R_{eR} < R_{eRkr}$ – laminar düzgünli akym.

$R_{eR} > R_{eRkr}$ – turbulent düzgünli akym.

Tejribe geçirilýän guralynyň gurluşy we häsýetnamasy

Turbalarda suwukluk akym kadalaryny öwrenmek we Reýnoldsyň kritiki sanyny tejribe esasyda kesgitlemek üçin tejribehanada goýulan armfield kompaniýanyň F1-20 belgili inžençilik okuw guraly ulanylýar. Guralyň gurluşy we esasy bölekleri 2-nji suratda görkezilen.



4.15–nji surat.Turbalarda suwuklugyň kadalarny öwrenmek we Reýnoldsyň sanyny kesgitlemek üçin armfield kompaniýanyň F1- 20 belgili inžençilik tejribe okuw guraly:

1–reňkli suwukluk gaby; 2–reňkli suwuklugyň akymyny sazlamak üçin krant; 3–beýikligi sazlamak üçin berkidiji wint; 4– basyş naporly suwukluk gaby; 5–reňkli suwuklugy çykarýan iňňe; 6- Suwukluguň aýna turbajyga girýän ýeri;

7-suwukluk derejesini saklaýan we artyk suwy alyp gidiji turbajyk; 8-aýnadan ýasalan tegelek şekilli şarikler; 9-suwukluk geliji turbajyk; 10 -akym kadasyny kesgitlemek we öwrenmek üçin niýetlenen aýna turbajygy (test geçirilýän ýeri); 11-direg esaslary; 12-suwukluk akymynyň mukdaryny sazlaýjy krant; 13 - çykýan suwuklugy alyp gidýän maýşak turba.

Işiň geçirilişiniň tertibi

1. F1 – 20 belgili Reýnolsyň guralyny F1–10 belgili gidrawliki göwrüm gabynyň üstünde ýöriteleşdirlen ýerde goýup berkitmeli.

2. Suwukluk derejesini saklaýan we artyk suwy alyp gidýän turba maýşak şlanganybirikdirmeli we maýşak şlangyň beýleki tarapyny F1–10 belgili gidrawliki gabasuw guýular ýaly edip goýmaly.

3. Suwukluk geliji (9)-nji turba bilen F1–10 belgili gidrawliki gapdan gelýän basyşly suw üpjünçilik turbasyny birikdirmeli.

4. F1-10 gidrawliki gabyň pultundaky knopkany basyp suwy hereketlendirýän nasosy işe girizmeli.

5. Reňkli suwukluk gabyna suwukluk guýup oňa reňk bermeli.

6. Suwukluk mukdaryny sazlaýan (12)-nji krany çala açmaly.

7. Reňkli suwukluk akymyny sazlaýan (2)-nji krany açmaly. Reňkli suwuklugyň göni çyzyk görnüşinde (10)-nji aýna turbajygyndan akyp geçmegi laminar kadaly akym düzgüniniň bardygyny aňladýar.

8. Bu düzgünde belli bir “t”wagtyň dowamynda (10)-nji aýna tyrbajygyndan geçen suwuklugyň V göwrümüni, suwuklugyň tempraturasyny kesgitlemeli we 2 – nji tablissa bellemeli. Wagty sekundametr bilen bellemeli suwukluk göwrümüni bolsa F1–10 gidrawliki gabynyň daşyndaky göwrüm ölçeýjiniň kömegi bilen kesgitlemeli.

9. Test geçirilýän (10)-nji aýna turbajygynyň diametri d = 0,01m, kese-kesiginiň meýdany: $\omega = 7{,}854 \times 10^{-5} m^2 = 0{,}0000785\ m^2$.

10. Reýnoldsyň kritiki sanyny kesgitlemek üçin (12)–nji krany assa-assadan açyp suwuklugyň akyp geçýän mukdaryny we tizligini ýokarlandyrmaly. Reňkli suwukluk öz hereketini göni çyzykdan tolkun görnüşine geçip başlan badyna krandyň wentilini ütgetmän saklamaly we ýokarda bellenen ölçegleri täzeden geçirmeli (°C, V, t,) we tablissa ýazmaly.

Hasaplamalaryň tertibi

1. Suwukluk mukdaryny aňlatma bilen hasaplamaly:

$$Q_t = \frac{V}{t}$$

Bu ýerde:

Q_t – suwukluk mukdary m^3/s;

V -turbajykdan akyp geçen we ölçeg esasynda kesgitlenen suwukluk göwrümi, m^3;

t– wagyt dowamy , s.

2. Turbajykdan akyp geçen suwuklugyň ortaça tizligini aňlatma bilen hasaplanýar.

$$\upsilon = \frac{Q_t}{\omega} = \frac{Q_t}{7{,}854 \cdot 10^{-5}}$$

Bu ýerde: υ – suwuklugyň ortaça tizligi , m/s;

ω - turbajygyň kese-kesiginiň meýdany , m^2

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot (0{,}01)^2}{4} = 7{,}85 \cdot 10^{-5}\ m^2$$

$$d = 0{,}01\ m^2$$

3. Reýnolsyň kritiki sanyny aňlatma bilen hasaplap bolar:

$$Re_{kr} = \frac{\upsilon d}{\nu}$$

ν – suwuň kinematiki şeppeşiklik koeffisiýenti 1–nji tablissadan ölçeg edilen tempratura baglylykda alynýar.

2 – nji tablisa

Ölçegler we hasaplamalar

t/b	Ady	Ölçeg birligi	Belgisi	Berlen,ölçeg edilen ýa-da hasaplanan	Sany
1	Turbajygyň diametri	*m*	*d*	berlen	0,01
2	Turbajykdan akyp geçen suwuň göwrümi	m^3	*V*	Ölçeg edilen	
3	Turbajykdan akyp geçen suwuň göwrüminiň wagt doýamy	*s*	*t*	Ölçeg edilen	
4	Suwuň tempraturasy	°C		Ölçeg edilen	
5	Suwuň kinimatik şeppeşiklik koeffsiýenti	m^2/s	v	1-nji tablissadan tempratura baglylykda alnan	
6	Turbadan akyp geçýän suwuň mukdary	m^3/s	$Q_t = \frac{V}{t}$	hasaplanan	
7	Suwuklugyň tizligi	*m/s*	$U = \frac{Q_t}{\omega}$	hasaplanan	
8	Reýnolsyň kritiki sany		$R_{ekr} = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu}$	hasaplanan	

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1.Reýnoldsyň sanynyň fiziki manysy we ony kesgitlenşiniň aňlatmasy.
2. Reýnoldsyň sanynyň kritiki bahasy we onuň kesgitlenilşi.
3.Suwukluk mukdary nyň kesgitlenilşi.
4. Suwukluk akymynyň ortaça tizliginiň kesgitlenilşi.

Edebiýatlar:

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.
2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.
3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.
4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment.Osborne Reynolds' Demonstration. Instruction Manual F1-20, 2011, 23 p.

4.11.Akym giňelende we daralandabasyş naporynyň ýerli ýitgileri öwrenmek diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň maksady: Geçiriji turbalaryň diametrleri birden ulalanda ýa-da kiçelende gidrawliki garşylyk koeffisiýentiniň ululygyny tejribe arkaly kesgitlemek.

Gysgaça nazary maglumatlar

Dürli diametrli geçiriji turbalaryň seplenmesitehnikada we praktikada örän köp ýerlerde gabat gelýän mysaldyr. Geçiriji turbalaryň diametrleri birden üýtgände, olardaky akymlaryň düzgünine, akymyň basyşynyň üýtgeýşine hem-de şonuň netijesinde ýüze çykýan goşmaça hadysalara aşakdaky mysallarda seredip bolar (1-nji surat).

Syratdan görnüşi ýaly, geçirijiniň diametri birden ulalanda (suratda d_1 ululykdan $d_2$ululyga geçende) akym d_2 diametrli geçirijini bir bada doldurmaýar. Akymyň giňelmesi uly bolmadyk l_g aralykda ýa-da seredilýan 1-1 we 2-2 kesikleriň aralygynda bolup geçýär. Şunlukda, gysga aralykda we wagtda P_1 statiki basyş P_2 ululyga çenli artýar, υ_1 tizlik υ_2 ululyga çenli peselýär. Esasy akym bilen d_2 diametrli geçirijiniň aralygynda dörän boşluk tüweleý görnüşli goşmaça akym bilen dolýar. Diýmek 1-1 we 2-2 kesikleriň aralygynda garşylykly ugurda 2 akym hereket edýär; birinji akym –esasy akym; ikinji akym – goşmaça esasy akymyň energiýasynyň hasabyna hereket edýän tuwaleý görnüşli akym.

Bordyň nazary derňewlerine laýyklykda akym birden giňelende, h_g gidrawliki ýitgi $\Delta\upsilon = \upsilon_1 - \upsilon_2$ ululykda ýitýän tizlik naporynyň ululygyna deňdir, ýagny:

$$hg = \left(\frac{\upsilon 1 - \upsilon 2}{2g}\right)^2 = \frac{\Delta\upsilon^2}{2g} \tag{4.80}$$

Akymyň mukdarynyň hemişeligini ($Q = \omega\cdot\upsilon = const$) göz öňünde tutup, $\upsilon_1\omega_1 = \upsilon_2\omega_1$ýa-da$\upsilon_1\frac{\pi d_1^2}{4} = \upsilon_1\frac{\pi d_2^2}{4}$belli gatnaşyklardan h_g üçin aşakdaky formula alynýar;

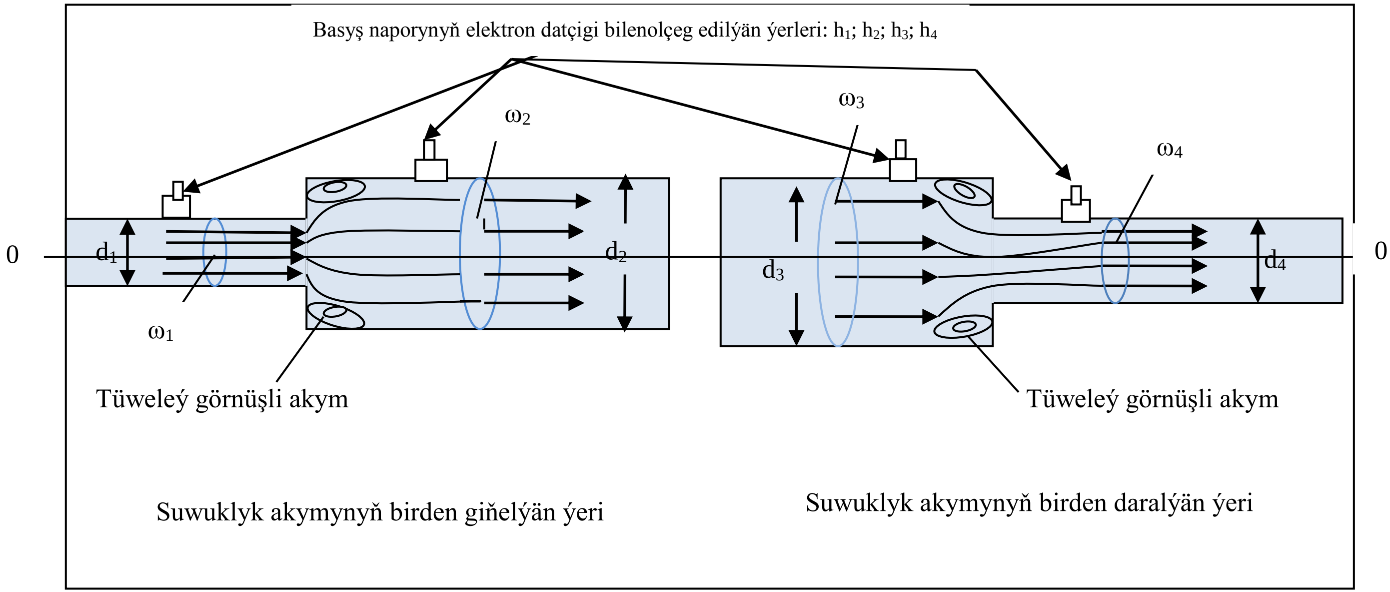
$$h_g = \left(1 - \frac{\upsilon 1 - \upsilon 2}{2g}\right)^2 \cdot \frac{\upsilon_1^2}{2g} = \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)^4 \cdot \frac{\upsilon_1^2}{2g} = \xi_g \frac{\upsilon_1^2}{2g} \tag{4.81}$$

ýa-da, geçirijileriň ξ_g giňelme ýerli garşylyk koeffisiýenti üçin aşakdaky nazary aňlatma gelip çykýar:

$$\xi_g = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)^4 \tag{4.82}$$

Umumy görnüşde, 1-1 we 2-2 kesikler üçin, akymyň 0-0 gorizontal okyna görä Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{1-2} \tag{4.83}$$



4.16-njy surat.Turbalaryň birden giňelýän we daralýan ýerlerinde suwukluk akymynyň görnüşi hem-de basyş naporynyň tejribede ölçeg edilýän ýerleri.

Seredilýän mysalda $Z_1 = Z_2 = 0, \alpha_1 \approx \alpha_2 = 1,0$ we $h_{1-2} = h_g$ diýip kabul edip bolar.Onda, 4-nji deňlemäni şu görnüşde ýazyp bolar:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\upsilon_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\upsilon_2^2}{2g} + h_g \quad (4.84)$$

ýa-da:

$$h_g = \left(\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\upsilon_1^2}{2g}\right) - \left(\frac{P_2}{\rho g} + \frac{\upsilon_2^2}{2g}\right) \quad (4.85)$$

Şeýlede, akym birden giňelende h_g we daralanda$h_d$döreýän naporyň ýitgileri:

$$h_g = \left(\frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g}\right) + \left(\frac{\upsilon_1^2}{2g} - \frac{\upsilon_2^2}{2g}\right) \quad (4.86)$$

$$h_d = \left(\frac{P_3}{\rho g} - \frac{P_4}{\rho g}\right) + \left(\frac{\upsilon_3^2}{2g} - \frac{\upsilon_4^2}{2g}\right)$$

Akymyň birden giňelme we daralma mysallaryny adaty ýerli gidrawliki garşylyk hökmünde seredip, ýokarda kesgitlenilen h_g we h_d ululyklary Weýisbahyň formulasy boýunça-da kesgitläp bolar:

Ýerli garşylygyň öňünde we yzynda ýerleşdirilen pýezometrleriň ýa-da elektron datçiginiň görkezmesi esasynda $\frac{P_1}{\rho g}, \frac{P_2}{\rho g}, \frac{P_3}{\rho g}, \frac{P_4}{\rho g}$basyş naporlaryny ölçäp hem-desuwukluk akymynyň $\upsilon_1, \upsilon_2, \upsilon_3, \upsilon_4$ortaça tizlikleri olçegler esasynda kesgitläp h_g we h_d ýerli garşylyklary (7)-nji aňlatma bilen tapmaly.

Tejribe işini geçirmek üçin ulanylýan gurallaryň häsýetnamasy

Tejribe işlerini geçirmek üçin “Armflid” komponiýasynyň inženerçilik okuw enjamlary ulanylýar.

Turbalardaky suwukluk hereketinde emele gelýän basyş naporynyň gidrawliki ýitgilerini öwrenmek üçin niýetlenen “Armflid” komponiýasynyň inženerçilik okuw enjamlarynyň daşgy görnüşi 2-nji suratynda görkezilen.

Öň geçirilen tejribe işleriniň geçiriliş tertibinde turbanyň birden giňelýän ýa-da daralýan ýerinde 2-3 sany tejribe geçirilýär. Her tejribe üçin yzygiderli ölçenen ululyklar 1-nji tablisa ýazylýar. Şeýlede, geçirilen tejribeler üçin hasaplama ulululuklar, aýratynda h_g we h_d naporyň ýitgileri hem-de birden giňelme we daralma ýerli garşylyk koeffisiýentleriniň nazary we tejribe ululyklary 1-nji tablisa ýazylýar.

1-nji tablissa

Turbalarda birden giňelme we daralma ýerlerinde ýerli garşylyk koeffisiýentini kesgitlemek

t/b	Ady	Ölçeg birligi	Tejribe belgisi		
			1	2	3
1	**Ölçegler:**				
	Ölçeg gabyndaky suwukluk göwrümi, *V*	$\frac{l}{m^3}$	-	-	-
2	Wagyt dowamy, *t*	*s*	-	-	-
3	Turbanyň içki diametrleri, d_1 *we* d_4	$\frac{mm}{m}$	-	-	-
4	Turbanyň birden giňelýän we daralýan ýereriniň içki diametrleri, d_2 *we* d_3	$\frac{mm}{m}$	-	-	-
5	Basyş naporynyň ulylygy, $h_1=\frac{P_1}{\rho g}$, (d_1 diametrli turbada)	$\frac{sm}{m}$	-	-	-

6	Basyş naporynyň ulylygy, $h_2 = \frac{P_2}{\rho g}$ (d_2 diametrli turbada)	$\frac{sm}{m}$	-	-	-
7	Basyş naporynyň ulylygy, $h_3 = \frac{P_3}{\rho g}$ (d_3 diametrli turbada)	$\frac{sm}{m}$	-	-	-
8	Basyş naporynyň ulylygy, $h_4 = \frac{P_4}{\rho g}$ (d_4 diametrli turbada)	$\frac{sm}{m}$	-	-	-
Hasaplamalar:					
1	Suwukluk akymynyň mukdary $Q = \frac{V}{t}$	m^3/s			
2	Turbalaryň kese-kesiginiň meýdany $\omega_1 = \omega_4 = \frac{\pi d1^2}{4}$	m^2			
3	Turbalaryň kese-kesiginiň meýdany $\omega_2 = \omega_3 = \frac{\pi d2^2}{4}$	m^2			
4	Turbada suwukluk akymynyň ortaça tizligi, $\upsilon_1 = \upsilon_4 = \frac{Q}{\omega 1}$	m/s			
5	Turbada suwukluk akymynyň ortaça tizligi, $\upsilon_2 = \upsilon_3 = \frac{Q}{\omega 2}$	m/s			
6	Naporyň giňelme ýitgisi $h_g = (h_1 - h_2) + \left(\frac{\upsilon_1^2}{2g} - \frac{\upsilon_2^2}{2g}\right)$	m			
7	Giňelme ýerli garşylyk koefisiýenti, $\xi_g = h_g \frac{2g}{\upsilon_1^2}$	-			
	Nazary aňlatma bilen hasaplanan ýerli garşylyk koefisiýenti, $\xi_g = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)^4$	-			
8	Naporyň daralma ýitgisi $h_d = (h_3 - h_4) + \left(\frac{\upsilon_3^2}{2g} - \frac{\upsilon_4^2}{2g}\right)$	m			

9	Daralma ýerli garşylyk koefisiýenti, $\xi_d = h_d \frac{2g}{\vartheta^2{}_3}$	-			

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1. Turbalaryň diametri birden üýtgände suwukluk akymynyň basyş naporynyň ýitgileri haýsy aňlatma bilen kesgitlenýär?
2. Suwukluk akymynyň basyş naporynyň ýerli ýitgileri haýsy ýerlerde bolup biler?
3. Ýerli garşylyk koeffisiýentini tejribe esasynda kesgitlenilşini düşindiriň.

Edebiýatlar:

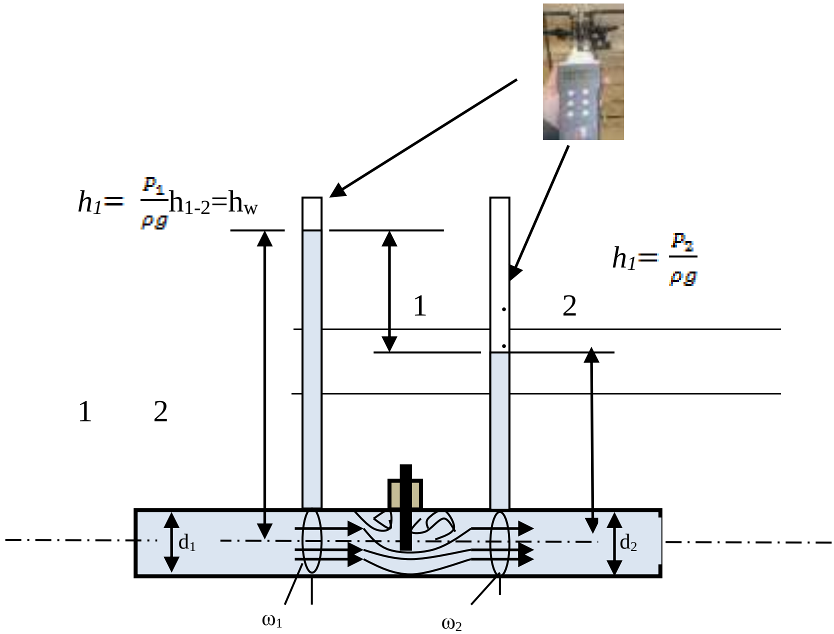
1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.
2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.
3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.
4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Fluid Friction Apparatus. Instruction Manual C6-MKII-10, 2012, 36 p.

4.12. Muftaly wentillerniň gidrawliki garşylyklaryny we ýitgilerini öwrenmek diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň maksady: wentilleriň gidrawliki ýerli garşylyk koeffisiýentiniň ululygy akymyň dürli hereket kadalarynda tejribe arkaly kesgitlemek.

Gysgaça nazary maglumatlar

Geçiriji turbalarda giňden ulanylýan wentiller akymyň mukdaryny sazllamak ýa-da ony doly kesmek üçin niýetlenilýärler. Wentilleriň esasy iş guraly (dyky, manžet, disk we ş.m) islendik açyklyk (ýapyklyk) derejesinde, akymda ýerli gidrawliki garşylyk döredýär. Bu garşylyk akymyň basyşyny we tizligini birde üýtgedýär hem-de onyň gysga böleginde goşmaça hereketleri döredýär.Netijede wentilleriň üstünden geçýän akymda goşmaça gidrawliki ýitgi ýüze çykýar.



4.17 –nji surat.Turbada suwukluk mukdaryny sazlamak üçin goýulan wentilden suwukluk akymynyň geçişiniň görnüşi hem-de basyş naporynyň pýezometr ýa-da elektron datçigi bilen ölçeg edilýän ýerleri.

Suratda *d* diametrli geçiriji turbadaky akymyň 1-1 we 2-2 kesimler bilen çäklenen böleginde wentilliň döredýän goşmaça gidrawliki garşylyklary we ýitgileri şekillendirilen. Kesimlerde oturdylan pýezometrleriň beýiklikleriň aratapawydy, $h_w = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g}$ $=h_1$ - h_2 wentildäki döreýän ýitginiň ululygyna deň. Suratda şekillendirilen akym üçin Bernulliniň deňlemesini ýazalyň:

$$Z_1+ \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} = Z_2+ \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{1-2} \qquad (4.87)$$

Kabul edilen şertler üçin.

$$Z_1= Z_2=0; \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} \approx \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g};$$

Bernulliniň deňlemesi aşakdaky görnüşe geler;

$$\frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_2}{\rho g} + h_{1-2} \qquad (4.88)$$

ýa-da

$$h_{1-2} = \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} = h_w \qquad (4.89)$$

Suratda şekillendirilen h_w ýitgi we nazary usul bilen subut edilen h_{1-2} naporyň ýitgisi şol bir ululygy, ýagny, wentilliň akymda döredýän gidrawliki ýitgisini aňladýarlar.

Bilişimiz ýaly, naporyň ýerli ýitgisi Beýsbahyň aňlatmasy arkaly kesgitlenilýär:

$$h_w=\xi_w \frac{\upsilon^2}{2g} \qquad (4.90)$$

bu ýerde:

ξ_w – wentilliňýerli gidrawliki garşylyk koeffisiýenti.

υ – wentilliň ýerleşen çäginde akymyň orta tizligi.

$\upsilon=\frac{Q}{w} = \frac{4Q}{\pi d^2};$

(4.90) aňlatmany ξ_w üçin ýazýarys:

$$\xi_w=\frac{2g \cdot hw}{\upsilon^2}=\frac{g\pi^2 d^4 \cdot hw}{8Q^2}= A\frac{hw}{Q^2} \qquad (4.91)$$

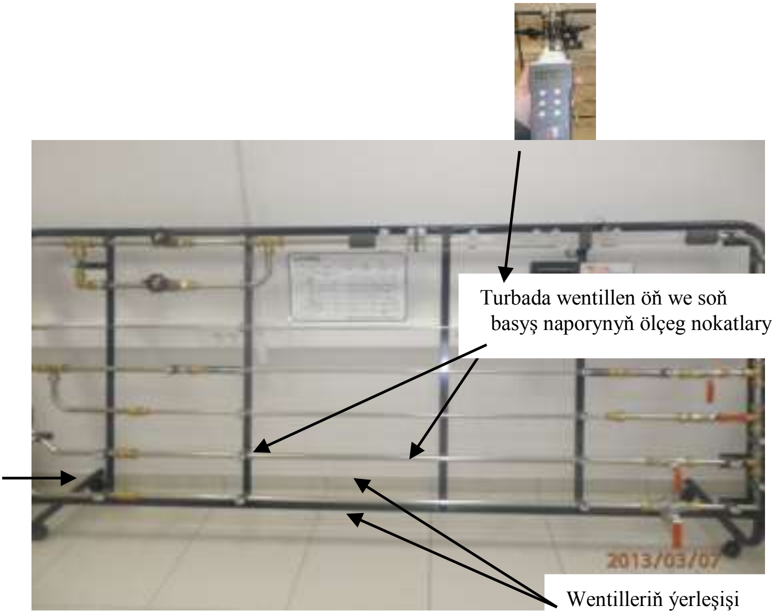
$A= \frac{g\pi^2 d^4}{8}$ – wentilliň gidrawliki hemişeligi.

Diýmek, wentilleriň gidrawliki garşylyk koeffisiýentiniň ululygyny tejribe arkaly kesgitlemek üçin, olarda döreýän naporyň ýitgisini we akym mukdaryny ölçemeklik ýeterlikdir.

Tejribe desgasy we tejribäniň ýerine ýetirlişi

Tejribe işlerini geçirmek üçin “Armflid” kompaniýasynyň C6-MK 11-10 kysymly okuw enjamy ulanylýar. Tejribe desgasy öňki 5-nji tejribe işinde doly beýan edildi. Seredilýän tejribe işleri desganyň dürli diametri turbalarynda oturdylan wentilleri üçin geçirýäris. Wentilleriň ýerleşişi 2-nji suratda görkezilen.

Tejribäni ýerine ýetirmek üçin, tejribe desgasynyň soňunda oturdylan sazlaýjy 12-nji belgili wentilliň kömegi bilen, akymyň 5-6 sany hereket kadasy (tejribäniň sany) üçin, pýezometrleriň görkezýän h_1, h_2 suwukluk beýiklikleriniwe t wagtyň dowamynda ölçeg gabyna guýulan$V$suwukluk göwrümini, aşakda getirlen 1-nji tablisa ýazýarys. Soňra 1-nji tablisadaky görkezilen tertip boýunça geçrilen tejribeler üçin degişlilikde Q akymyň mukdaryny, wentillerdäki $h_w$naporynyň ýitgilerni hen-de (7.5) aňlatma boýunça wentilleriň ξ_w gidrawliki garşylyk koeffisiýentini ululyklaryny kesgitleýäris. Pýezometrleriň görkezýän h_1, h_2 suwukluk beýikliklerini turbalarda basyş naporyny ölçemek üçin niýetlenen elektron datçigi hem ulanyp bilner.



4.18-nji surat. Wentilleriň we olçeg nokatlarynyň ýerleşişi.

1-nji tablissa

Turbalarda wentilleriň goýulan ýerlerinde ýerli garşylyk koeffisiýentini kesgitlemek

t/b	Ady	Ölçeg birligi	Tejribe belgisi		
			1	2	3
Ölçegler:					
1	Ölçeg gabyndaky suwukluk göwrümi, *V*	$\frac{l}{m^3}$	-	-	-
2	Wagyt dowamy, *t*	*s*	-	-	-
3	Turbanyň içki diametrleri, d_1	$\frac{mm}{m}$	-	-	-
4	Turbanyň içki diametrleri, d_2	$\frac{mm}{m}$	-	-	-
5	Basyş naporynyň	$\frac{sm}{m}$	-	-	-

	ulylygy, $h_1=\frac{P_1}{\rho g}$, (d_1 diametrli turbada)				
6	Basyş naporynyň ulylygy, $h_2=\frac{P_2}{\rho g}$ (d_2 diametrli turbada)	$\frac{sm}{m}$	-	-	-
Hasaplamalar:					
1	Suwukluk akymynyň mukdary Q = $\frac{V}{t}$	m^3/s	-	-	-
2	Turbalaryň kese-kesiginiň meýdany $\omega_1=\frac{\pi d1^2}{4}$	m^2	-	-	-
3	Turbalaryň kese-kesiginiň meýdany $\omega_2=\frac{\pi d2^2}{4}$	m^2	-	-	-
4	Turbada suwukluk akymynyň ortaça tizligi,$\upsilon_1=\frac{Q}{\omega 1}$	m/s	-	-	-
5	Turbada suwukluk akymynyň ortaça tizligi,$\upsilon_2=\frac{Q}{\omega 2}$	m/s	-	-	-
6	Naporyň wentille ýitgisi $h_w=(h_1- h_2)$ $+\left(\frac{\upsilon_1^2}{2g}-\frac{\upsilon_2^2}{2g}\right)$	m	-	-	-
7	Wentiliňýerli ýerli garşylyk koefisiýenti, $\xi_w= h_w\frac{2g}{\vartheta^2 1}$	-	-	-	-

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1. Wentillerde suwukluk akymynyň basyş naporynyň ýitgileri haýsy aňlatma bilen kesgitlenýär?
2. Suwukluk akymynyň basyş naporynyň ýerli ýitgileri nämä bagly?
3. Wentillerde garşylyk koeffisiýentini tejribe esasynda kesgitlenilşini düşindiriň.

Edebiýatlar:

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.
2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.
3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.
4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Fluid Friction Apparatus. Instruction Manual C6-MKII-10, 2012, 36 p.

V BAP.

TURBAGEÇIRIJILERIŇ GIDRAWLIKI HASAPLAMALARY

5.1. Turbageçirijileriň umumy häsiýetnamalary we görnüşleri

Turbageçirijiler suwuklyklary we gazlary akdyrmakda ulanylýan enjamdyr. Mysal üçin suw, nebiti, gazy suwuk nebir önümlerini, howany we ş.m, turbalar arkaly akdyrylýar.

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:

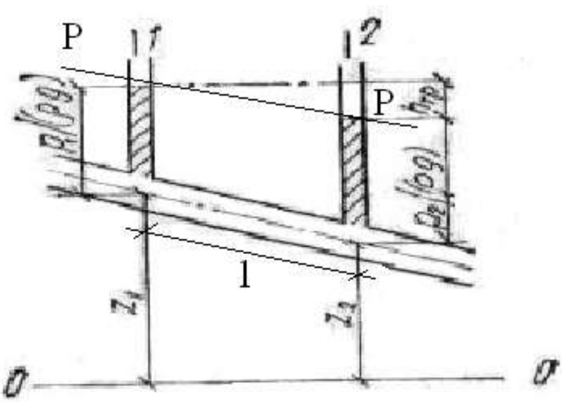
- Gysga ýa-da h_f naporyň umumy ýitgisiniň düzümi deň derejede h_e uzynly we $h_ý$ ýerli ýitgilerden ybarat bolan turbageçirijileri, olarda $h_f = h_e + h_m$;
- Uzyn (magistral) ýa-da h_f naporyň umumy ýitgisiniň düzümi esasan h_e uzynlyk ýitgiden ybarat bolan turbageçirijiler, olarda $h_f \approx 1.1\ h_e$ (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.

$$\vartheta = \frac{4Q}{\pi d^2} \tag{5.9}$$

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 $\lambda = f(\mathrm{Re}; \frac{\Delta ekw}{d})$ 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:

$$h_e = 1.1 \cdot \frac{\lambda_{kw} l}{d} \cdot \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} = 1.1 \cdot \frac{8\lambda_{kw}}{g\pi^2 d^5} lQ^2 = 1.1 S_0 lQ^2 \quad (5.10)$$

Bu ýerde

$S_0 = \frac{8\lambda_{kw}}{g\pi^2 d^5}$ – 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 $h_e = 1.1 S_0 lQ^2$ 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:

$$H_1 = H_2 + 1.1 S_0 lQ^2 \quad (5.11)$$

Soňky, (5.11) belgili aňlatmada $S_0 l = S$ 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:

$$H_1 = H_2 + 1.1 \cdot \frac{lQ^2}{K^2} \qquad (5.13)$$

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 ($\lambda_{kw} = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{d})^{0.25}$ 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 $\Delta_{ekw} = 0.1mm, \lambda_{kw} = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{d})^{0.25}$ 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 $\lambda = f(Re, -\frac{\Delta_{ekw}}{d})$ 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 $h_e = 1.1S_0 lQ^2$ görnüşli formulada $S_0 = \frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5}$ baglanyşygy turbulent akymyň islendik garşylyk zolagy üçin ýazyp hem-de formulanyň sag tarapyny $\frac{\lambda_{kw}}{\lambda_{kw}}$ gatnaşyga köpeldip, aşakdaky uniwersal hasaplama formulany alarys:

$$h = 1.1S_0 lQ_2 = 1.1\frac{8\lambda}{g\pi^2 d^5} \cdot \frac{\lambda_{kw}}{\lambda_{kw}} lQ = 1.1\frac{\lambda}{\lambda_{kw}} \cdot \frac{8\lambda_{kw}}{g\pi^2 d^5} lQ^2 = 1.1\varphi S_0 lQ^2 \quad (5.14)$$

bu ýerde

$\varphi = \frac{\lambda}{\lambda_{kw}}$ – 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:

$$H_1 = H_2 + 1.1\varphi S_0 lQ^2 \quad (5.15)$$

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 $\lambda_{kw} = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{d})^{0.25}$ hem-de

$$\lambda = 0.11(\frac{\Delta_{ekw}}{d} + \frac{68}{Re})^{0.25}$$

formulalaryny ulanyp kesgitlesek, onda:

$$\varphi = \frac{\lambda}{\lambda_{kw}} = (1 + \frac{68\nu}{\vartheta\Delta_{ekw}})^{0.25} \qquad (5.16)$$

Şeýle-de $\varphi -$ düzediş koeffisiýentiniň ululygyny Şewelýewiň tejribe derňewleriniň netijesinde alan formulasy boýunça kesgitläp bolar:

$$\varphi = \frac{1}{\vartheta^{0.2}} \qquad (5.17)$$

Şewelýew (5.17) belgili formulany akymyň hakyky tizligi $\vartheta < 1.2m/sek$ bolan ähli suw geçiriji turbalarda ulanmaklygy makul bilýär.

Aşakda 5.2-nji tablisada φ düzediş koeffisiýentiniň hakyky ululyklary täze polat suw ($\Delta_{ekw} = 0.1mm, \nu = 0.01 \cdot 10^{-4} m^2/s$) 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:

$$H_1 = H_2 + 1{,}1 S_0 l Q^2 \tag{5.11}$$

ýa-da

$$H = H_1 - H_2 = 1{,}1 S_0 l Q^2 \tag{5.18}$$

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 λ=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 guluşyk koýefisiýentleriniň jemi. Ýokardaky getirilýän formulalary ulanmak we çözmek üçin gerek bolan Re=$\frac{\vartheta \cdot d}{\nu}$, ϑ=$\frac{4Q}{\pi d^2}$, 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.

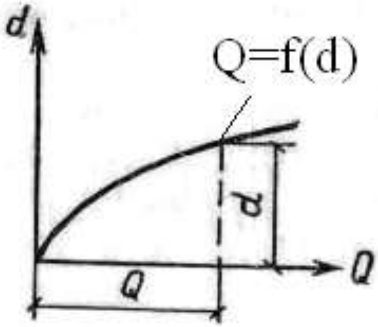
Goýulan meseläniň çözgüdi öňki meselelerde boluşy ýaly, (5.18) we (5.20) belgili formulalaryň kömegi bilen ýerine ýetirilip biliner. Emma ýokarda agzalan formulalar d ululyga görä çözülende dördünji we bäşinji derejeli deňlemeler alynar. Eger-de λ, $\xi_{ý}$ koeffisiýentleri kesgitlemek üçin ulanyllmaly 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:

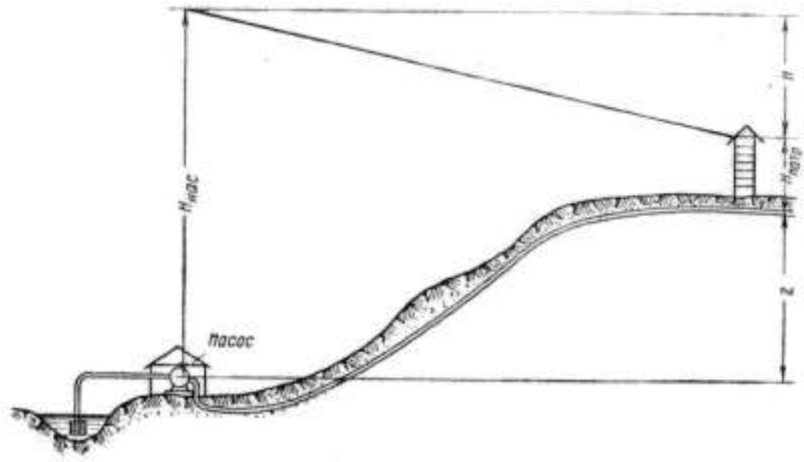
$$Q = \frac{\pi d^2}{4}\sqrt{\frac{2gH}{\alpha + f_1(d)\frac{l}{d} + \sum \xi_{\acute{y}}}} \tag{5.23}$$

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:

$$H_N=H_{st}+h_e \qquad (5.24)$$

Bu ýerde

H_{st}-nasos desgasynyň hemişelik statiki napory. Öz gezeginde H_{st} ululyk şeýle kesgitlenilýär.

$$H_{st}=(Z_u-Z_s)+H_u \qquad (5.25)$$

Akdyryjy ulgamyň turbageçirijilerinde döreýän napory uzynlyk ýitgisiniň ululygy (5.10) belgili aňlatma boýunça kesgitleniler:

$$h_e=1,1S_olQ^2 \qquad (5.10)$$

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:

$$d=a\cdot Q^{0,42} \qquad (5.27)$$

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.

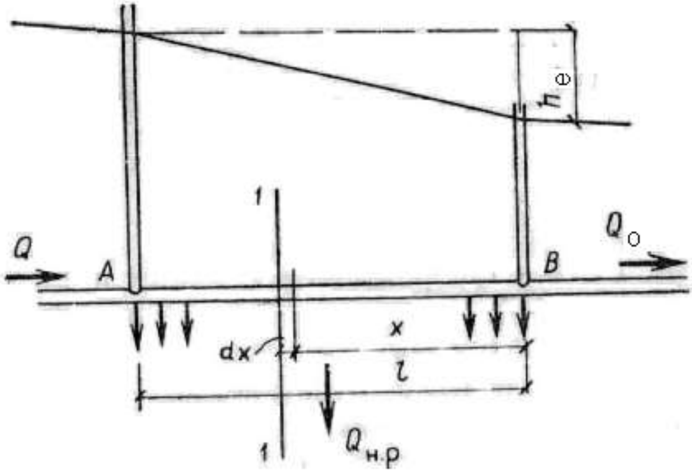
Onda turbageçirijiniň AB böleginde Q_l mukdar önümligi $q_l=Q_l/l$ ululykda üznüksiz paýlaýar hem-de doly sarp edilýär.

Suwuklyk akymynyň Q_o mukdary bolsa turbageçirijiniň deşikli böleginden üýtgemeýän ululykda göni geçýär. Turbageçirijiniň başlangyç A nokadynda akymyň umumy Q mukdary

$$Q=Q_o+Q_l \qquad (5.28)$$

Turbageçirijiniň B nokadynda akymyň umumy mukdary diňe göni geçýän ýa-da tranzit mukdardan ybaratdyr.

$$Q=Q_o \qquad (5.29)$$



5.5-nji surat

Deşikli turbageçirijiniň AB bölegiňde 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

$$dh_e = S_o \left(Q_o + Q_l \frac{x}{l}\right)^2 dx \qquad (5.32)$$

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

$$h_l = S_o l Q_{d.h}^2 \qquad (5.34)$$

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

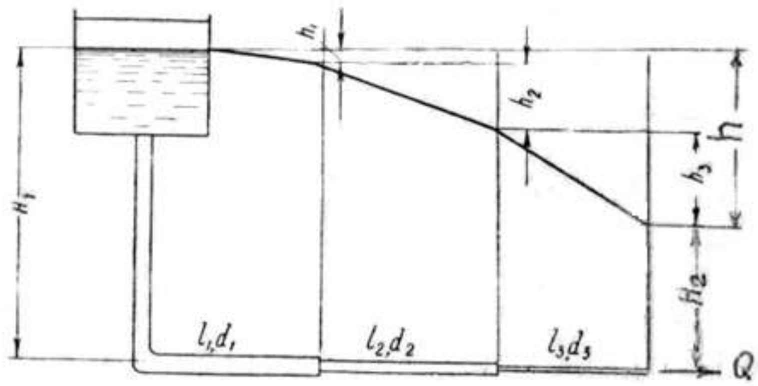
$Q_{d.h}^2 = \frac{Q_l^2}{3}$ bolar. Onda (5.33) hem-de (5.34) belgili gidrawliki hasaplama formulalary aşakdaky görnüşde ýazylarlar:

$$h_l = \frac{1}{3} S_0 l Q_l^2 \tag{5.35}$$

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

$$h=h_1+h_2+h_3 \tag{5.36}$$

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:

$$H_1=H_2+h \tag{5.37}$$

$$H_1=H_2+h_1+h_2+h_3 \tag{5.38}$$

$$H_1=H_2+1{,}1S_{0.1}l_1Q^2+1{,}1S_{0.2}l_2Q^2+1{,}1S_{0.3}l_3Q^2 \tag{5.39}$$

$$H_1=H_2+1{,}1(S_{0.1}l_1+S_{0.2}l_2+S_{0.3}l_3)Q^2 \tag{5.40}$$

$$H_1=H_2+1{,}1\left(\sum_{i=1}^{n} S_{oi}\, l_i\right)Q^2 \tag{5.41}$$

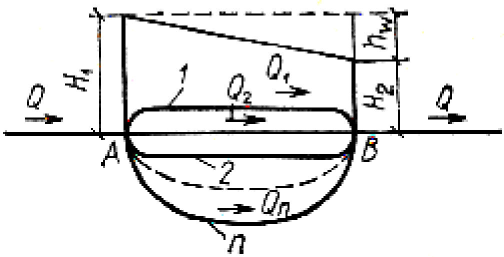
Bu ýerde S_{o1}, S_{o2}, S_{o3} – yzygiderli birleşdirlen ýönekeý turbageçirijileriň kwadratly garşylyk zolagy üçin alynan udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylyklar 1,1- ýerli gidrawliki garşylyklary hasaba alýan koeffisiýenti.

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:

$$Q = \sqrt{\frac{h}{s}} \qquad (5.42)$$

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:
$h_f = 1.1h_в = 1.1S_0 lQ^2$. Onda, parallel birleşdirilen turbageçirijileriň her biri üçin ýazyp bolar:

$$h_1 = 1.1S_{0.1}l_1{Q_1}^2$$

$$h_2 = 1.1S_{0.2}l_2{Q_2}^2$$

$$h_3 = 1.1S_{0.3}l_3{Q_3}^2 \tag{5.44}$$

$$h_n = 1.1S_{0.n}l_n{Q_n}^2$$

Soňky formulalardan parallel turbageçirijileriň akymlarynyň mukdarlaryny kesgitläp bolar:

$$\left.\begin{array}{l} Q_1 = \sqrt{\dfrac{h_f}{1.1S_{0.1}l_1}} \\ Q_2 = \sqrt{\dfrac{h_f}{1.1S_{0.2}l_2}} \\ Q_3 = \sqrt{\dfrac{h_f}{1.1S_{0.3}l_3}} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ Q_n = \sqrt{\dfrac{h_f}{1.1S_{0.n}l_n}} \end{array}\right\} \tag{5.45}$$

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:

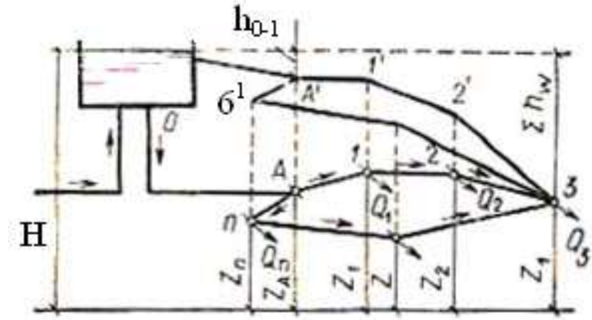
$$Q = \sqrt{\frac{H_1 - H_2}{1.1\sum_{i=1}^{n} S_{0.i}l_i}} \qquad (5.48)$$

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 $Q_{1-2}=Q_2+ Q_3+ \alpha_1 Q_4$ ýa-da 1-6 bölegiň akymynyň mukdary $Q_{1-6}=Q_6+ Q_5+ \alpha_2\ Q_4$. Bu ýerde 4-nji düwün halkanyň soňky ýygnaýjy hem-de gidrawliki manyda höküm ediji düwündir. Ol Z_4, Q_4 hem-de $\sum l_{1-2-3-4}$ we $\sum l_{1-6-5-4}$ 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

$$\pm\sum Q_{düwün}=0 \tag{5.48}$$

2. Halkanyň akym ugurlary boýunça naporyň ýitgilerniň algebraik jemi nola deňdir, ýagny
3.

$$\pm\sum h=0 \tag{5.49}$$

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:

$$H=Z_4+\sum h \tag{5.50}$$

Bu ýerde

∑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, ∑h aşakdaky görnüşlerde kesgitlenip biliner:

$$\sum h=h_{0-1}+ h_{1-2}+ h_{2-3}+ h_{3-4} \tag{5.51}$$

ýa-da

$$\sum h=h_{0-1}+ h_{1-6}+ h_{6-5}+ h_{5-4} \tag{5.52}$$

Şeýlelikde (5.50) belgili deňleme aşakdaky görnüşlerde ýazylyp biliner:

$$H=Z_4+ h_{0-1}+ h_{1-2}+ h_{2-3}+ h_{3-4} \tag{5.53}$$

ýa-da

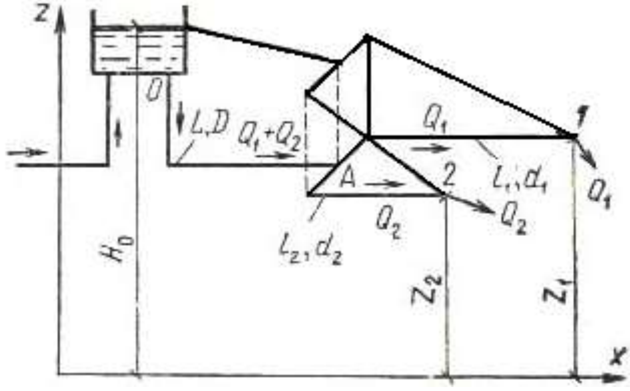
$$H= Z_4+ h_{0-1}+ h_{1-6}+ h_{6-5}+ h_{5-4} \tag{5.54}$$

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,

$Q_{0\text{-}1}=Q_1+Q_2$; $Q_{1\text{-}2}=Q_2$; $Q_{1\text{-}3}=Q_3$



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:

$$H=Z_2+h_{0-1}-h_{1-2} \qquad (5.55)$$

ýa-da

$$H= Z_3+h_{0-1}-h_{1-3} \qquad (5.56)$$

(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 hüküm 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 höküminde 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 höküm 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.

$$H_1=Z_2+h_{1-2} \tag{5.59}$$

ýa-da

$$H_1=H-h_{0-1} \tag{5.60}$$

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.

$$S_{1-3}=\frac{H_1-Z_3}{1{,}1\,\ell_{1-3}\cdot Q_{1-3}^2} \tag{5.61}$$

Kesgitlenilýän d_{1-3} diametr S_{1-3} ululygy boýunça $S_{o.kw}=f(d)$ grafiklerden kabul edilmelidir.

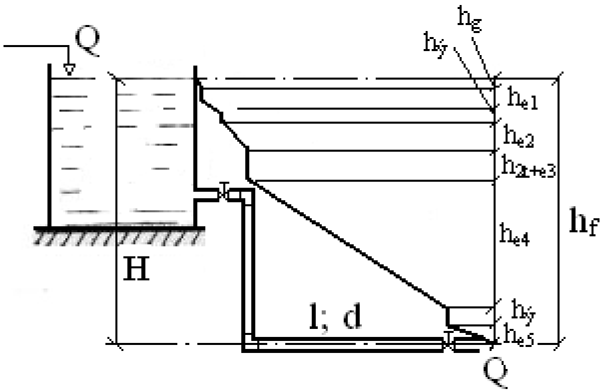
Şahaly turbageçirijiler setiň ýokarda ýazylyp beýan edilen gidrawliki hasaplama usuly setiň şahalarynyň gidrawliki nukdaý-nazardan deňölçegli ýüklenmesini üpjün edýän hasaplama usulydyr.

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

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;



5.10-njy surat

- 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:

$$h_f = h_l + h_ý = \frac{\lambda\ell}{d}\cdot\frac{v^2}{2g} + \sum\xi_ý\frac{v^2}{2g} = \left(\frac{\lambda\ell}{d} + \sum\xi_ý\right)\frac{v^2}{2g} \quad (5.62)$$

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. $\Theta = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^4}$

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:

$$H=\frac{\alpha v^2}{2g}+h_f \tag{5.63}$$

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:

$$H=\left(\alpha+\frac{\lambda\ell}{d}+\sum\xi_{\acute{y}}\right)\frac{v^2}{2g} \tag{5.64}$$

ýa-da $\vartheta=\frac{Q}{\omega}$ göz öňüde tutup:

$$H=\left(\alpha+\frac{\lambda\ell}{d}+\sum\xi_{\acute{y}}\right)\frac{Q^2}{\omega^2 2g} \tag{5.65}$$

Soňky (5.65) belgili deňlemeden, gysga turbageçirijileriň geçirijilik ukybynyň Q ululygy üçin alarys:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\lambda \ell}{d} + \sum \xi_{\acute{y}}}} \omega \sqrt{2gH} \tag{5.66}$$

ýa-da

$$Q = \mu_u \omega \sqrt{2gH} \tag{5.67}$$

Bu ýerde

μ_u-gysga turbageçiriji ulgamyň mukdar koeffisiýenti

$$\mu_u = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\lambda \ell}{d} + \sum \xi_{\acute{y}}}} \tag{5.68}$$

Ýokarda alynan we seredilen ulgamyň μ_u mukdar koeffisiýentiniň takyk ululygy aşakdaky görnüşde kesgitleniler.

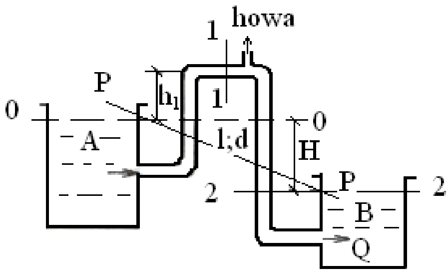
$$\mu_u = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\lambda \ell}{d} + \xi_d + 2\xi_z + 2\xi_t}} \tag{5.69}$$

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:

$$\mu_u = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{\lambda\ell}{d}+\xi_g+2\xi_t+2\xi_ç}} \qquad (5.70)$$

Bu ýerde

λ –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 döredýän 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 $h_{f(0\text{-}1)}$ ýitgilerini ýeňip geçmeklige sarp edilýär, ýagny:

$$\frac{(P_a - P_1)}{\rho g} = h_1 + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} + h_{f(0-1)} \qquad (5.71)$$

Onda, siffonyň oturdylmaly aňryçäk beýikligi

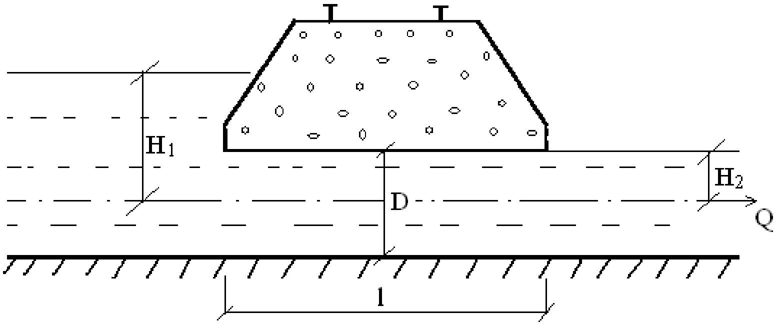
$$h_1 = \frac{(P_a - P_1)}{\rho g} - \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} - \mathrm{h}_{f(0-1)} \qquad (5.72)$$

Siffonyň sorujy böleginiň naporynyň ýitgisi $\mathrm{h}_{f(0-1)} = (\frac{\lambda \ell}{d} + \xi_g + \xi_t)\frac{\vartheta_1^2}{2g}$ 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=H1-H2 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:

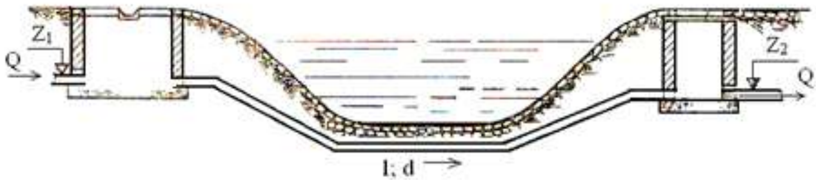
$$Q = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{2g(H_1 - H_2)}{1 + \frac{\lambda \ell}{D} + \xi_g + \xi_ç}} \qquad (5.73)$$

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:

$$H_1 = H_2 + \frac{8Q^2}{g\pi^2 D^2} \cdot \left(1 + \frac{\lambda \ell}{D} + \xi_g + \xi_ç\right) \qquad (5.74)$$

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 $H=Z_1-Z_2$ ululyga 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:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4}\sqrt{\frac{2g(H_1-H_2)}{1.1(1+\frac{\lambda\ell}{d}+\xi_g+\xi_ç+4\xi_{\bar{o}})}} \qquad (5.75)$$

Ýa-da

$$H = \frac{8Q^2}{g\pi^2 d^2}\cdot 1.1\left(1+\frac{\lambda\ell}{d}+\xi_g+\xi_ç+4\xi_Q\right) \qquad (5.76)$$

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.

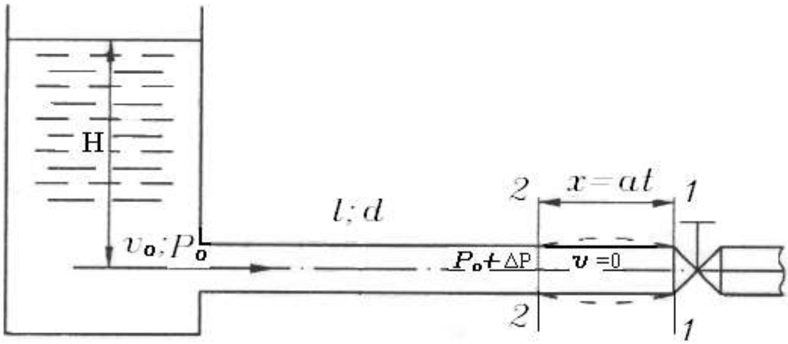
Turbageçirijili akdyryjy ulgamlarda gidrawliki urgy hadysasy XIX asyryň başlarynda meşhur rus alymy, akademik N.Ýe.Žukowskiý tarapyndan çuňňur öwrenildi hem-de bu barada ýörite ylmy nazaryýeti esaslandyryldy.

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 bada-bat 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:

$$m\vartheta_0 = \Delta P\omega t \qquad (5.77)$$

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

ρ –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:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1+\frac{K}{E}\cdot\frac{d}{\delta}}} \tag{5.80}$$

Bu formulada

K – suwuklygyň göwrüm gysylma garşylyk moduly (1.3-nji bölümde getirilen);

E – turbanyň materiýalynyň garşylyk moduly;

δ – turbanyň diwarynyň galyňlygy;

Aşakda 5.3-nji tablisada suw akymly käbir turbageçirijileriň K we E ululyklary getirilýär.

5.3-nji tablisa

Materiallar	$\frac{K}{E}$	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:

$$t_p = \frac{2l}{a} \qquad (5.81)$$

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:

$$P_1 - P_2 = \Delta P_f \qquad (5.85)$$

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:

$$\Delta P_f = \Delta P_e + \Delta P_ý \qquad (5.86)$$

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

$$\Delta P_f = \left(\frac{\lambda l}{d} + \sum \zeta_ý\right) \rho \frac{\vartheta^2}{2} \qquad (5.87)$$

Uzyn ýa-da magistral pes basyşly gaz geçirijileri üçin (5.29) belgili formula aşakdaky görnüşde ýazylyp biliner:

$$\Delta P_f = 1.1\Delta P_e = 1.1\frac{\lambda l}{d}\rho\frac{\vartheta^2}{2} \qquad (5.88)$$

Umumy görnüşde pes basyşly magistral gaz geçirijiniň esasy gidrawliki hasaplama formulasy (5.86)we (5.88) bilelikde sereredilen) şeýle ýazylar:

$$P_1 = P_2 + 1.1\frac{\lambda l}{d}\rho\frac{\vartheta^2}{2} \qquad (5.89)$$

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.

<u>Howa çalşyk ulgamlarynyň howa geçirijileri</u> 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, $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{ab}{2(a+b)}$ ulanylmalydyr. Şeýle-de howa geçiriji kanallaryň gidrawliki sürtülme koeffisiýentiniň ululugy Altşulyň uniwersal formulasy boýunça kesgitlenilmeli, $\chi = 0.11\left(\frac{\Delta_{ekw}}{d_{ekw}} + \frac{68\lambda}{\vartheta d_{ekw}}\right)^{0.25}$. Howa geçiriji kanalyň ýeli gidrawliki garşylyklary takyk we Reýnoldsyň sanyna baglylykda hasaplamaly. Onda howa geçiriji kanallaryň esasy gidrawliki hasplama formulasy aşakdaky görnüşde ýazylar:

$$\Delta P_f = \left[\frac{0.11}{d_{ekw}} \cdot \left(\frac{\Delta_{ekw}}{d_{ekw}} + \frac{68\lambda}{\vartheta d_{ekw}}\right)^{0.25} + \sum \zeta_{\acute{y}}\right] \cdot \rho \frac{\vartheta^2}{2} \quad (5.90)$$

Ýerli gidrawliki garşylyklaryň görnüşleri we koeffisiýentleriň jemi $\sum \zeta_{\acute{y}}$, 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 $\chi = 0.11\left(\frac{\Delta_{ekw}}{d} + \frac{68\lambda}{\vartheta d}\right)^{0.25}$, gaz akymynyň tizligini $\vartheta = 4Q/\pi d^2$ formulalary boýunça aňladyp, aşakdaky normatiw resminamalaryň hödürleýän formulasyny alarys:

$$\Delta P_e = 7\left(\frac{\Delta_{ekw}}{d} + \frac{1922d\nu}{Q}\right)^{0.25} \cdot \frac{\gamma l Q^2}{d^5} \quad (5.91)$$

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 $\frac{\Delta_{ekw}}{d} \ll \frac{1922 d \nu}{Q}$ bolsa, onda gidrawliki ylmanak garşylyk zolakly pes basyşly gaz geçirijileri üçin

$$\Delta P_e = \frac{46.5 \nu^{0.25} \gamma l Q^{1.75}}{d^{4.75}} \tag{5.35}$$

Eger-de $\frac{\Delta_{ekw}}{d} \gg \frac{1922 d \nu}{Q}$ hem-de gaz akymynyň tizligi $\vartheta > 3\ m/sek$ bolsa, onda doly büdür-südür kwadratly garşylykly pes basyşly gaz geçirijileri üçin

$$\Delta P_e = \frac{7 \Delta_{ekw}^{0.25} \gamma l Q^2}{d^{5.25}} \tag{5.36}$$

hasaplama formulalary alynýar.

(5.36) belgili formula täze polat gaz geçiriji turbalary üçin ($\Delta_{ekw} = 0.1$mm) aşakdaky gysgaldylan görnüşe geler:

$$\Delta P_e = \frac{2.22 \gamma Q^2}{d^{5.25}} \tag{5.37}$$

<u>Ýokary we orta basyşly ýa-da uly otnasitel basyş tapawutly gaz geçirijileriniň gidrawliki hasaplamalarynda</u> 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:

$$-dP = dP_e \tag{5.38}$$

Deňlemäniň sag tarapyndaky basyşyň elementar uzynlyk sürtülme ýitgisini Darsiniň formulasy bilen kesgitläliň:

$$-dP = \lambda \frac{dl}{d} \rho \frac{\vartheta^2}{2} \tag{5.39}$$

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 $\lambda = \mathrm{f}(l)$ 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:

$$Re = \frac{\vartheta d}{\nu} = \frac{\rho \vartheta d}{\mu} = \frac{4\rho Q}{\pi d \mu} = \frac{4M}{\pi d \mu} \qquad (5.92)$$

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, $\lambda = f(Re; \frac{\Delta_{ekw}}{d})$ baglanyşyk esasynda kesgitlenilýän ululygyny üýtgetmeýär.

(5.92) belgili deňlemäni, gaz akymynyň mukdarynyň hemişeliginiň deňlemesinden $\vartheta\rho = \vartheta_1\rho_1 = \cdots = const, \ \vartheta = \frac{\vartheta_1\rho_1}{\rho}$ baglanyşygy ulanyp, gaz hereketiniň başlangyç ϑ_1 tizligine getireliň:

$$-dP = \lambda \frac{dl}{d} \cdot \frac{\rho_1^2}{\rho} \cdot \frac{\vartheta_1}{2} \qquad (5.93)$$

(5.93) belgili deňlemede $\frac{\rho_1^2}{\rho}$ gatnaşyk üçin gaz halynyň deňlemesini ulanyp alarys:

$$\frac{\rho_1^2}{\rho} = \frac{P_1^2}{PRT} \qquad (5.94)$$

Onda (5.93) belgili deňleme şeýle ýazylar:

$$-PdP = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\vartheta_1^2}{2g} \cdot \frac{P_1^2}{RT} dl \tag{5.95}$$

Soňky differensiýan deňlemäni P_1 we P_2 basyşlaryň çäklerinde integrirläp deňleme aşakdaky görnüşde getiriler:

$$\frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2} = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{\vartheta_1^2}{2} \cdot \frac{P_1^2}{RT} \tag{5.96}$$

$\rho_1 = \frac{P_1}{RT}$ gatnaşygy göz öňünde tutyp alarys:

$$\frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2} = \frac{\lambda l}{d} \cdot \frac{\vartheta_1^2}{2} \cdot P_1 \rho_1 \tag{5.97}$$

Ýa-da

$$\frac{\rho_1^2 - \rho_2^2}{2P_1} = \frac{\lambda l}{d} \rho_1 \frac{\vartheta_1^2}{2} \tag{5.98}$$

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:

$$G = \frac{\pi g}{4}\sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda l} \cdot \frac{d^5 \rho_1}{P_1}} \tag{5.100}$$

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:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{\alpha} = 1.45\left(\frac{\Delta_{ekw}}{d} + 1922\frac{d\nu}{Q}\right)^{0.25}\frac{\gamma Q^2}{d^5} \tag{5.101}$$

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:

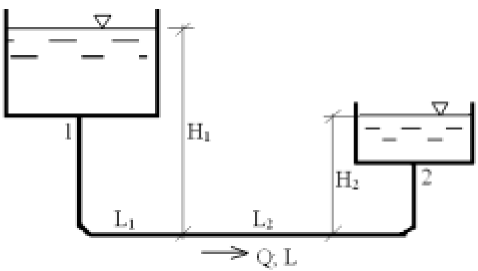
$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{\alpha} = \frac{9.6\nu^{0.25}\gamma Q^{1.75}}{d^{4.75}} \tag{5.102}$$

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{\alpha} = \frac{1.45Q^2\Delta_{ekw}^{0.25}}{d^{5.25}} \tag{5.103}$$

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.

5.12. 5-nji baba degişli amaly mysallar

1. naporly suw diňinden (1) sarp edijä (2) mukdary Q=15dm^3/sek (1 dm^3=1 litr) suwy almak üçin niýetlenilen uzynlygy 1000 m bolan täze polat turba geçirijiniň diametrini (d) kesgitlemeli. Naporly suw diňiniň beýikligi H_1=32 m, sarp edijiniň talap edýän erkin naporynyň ululygy H_2=14m (5.15-nji surat). Berlen şertlerde gelýän suwyň napory artykmaç bolanda mesele nähili çözülmeli?



5.15-nji surat

Meseläniň çözülişi: 5.2 we 5.3 getirilen 5.11 belgili formuladan, meselede goýulan şertleri kanagatlandyrýan basyşly ýönekeý turbageçirijiniň talap edilýän udel gidrawliki garşylygynyň (S_0) ululygyny kesgitleýäris:

$$S_0 = \frac{H_1 - H_2}{1.1 \cdot lQ^2} = \frac{32 - 14}{1.1 \cdot 1000 \cdot 0.015^2} = 72.73 \frac{s^2}{m^6}$$

5.1 belgili tablisadan (täze polat turbalaryň udel uzynlyk gidrawliki sürtülme garşylygyň ululyklary) $S_0 = 72.73 \frac{s^2}{m^6}$ turbanyň diametrini kabul edýäris:

d=0.15m=150mm

Bu turbanyň hakyky udel garşylygy $S_{0.kw} = 19.15 \frac{s^2}{m^6}$ deňdir. Bu ululyk meselede kesgitlenilen udel garşylyga iň ýakyn we uly tarapa tegeleklenen ululykdyr.

Kabul edilen d= 150mm turbageçirijiniň ahyrky 2-nji nokadynda üpjün edýän hakyky erkin naporynyň ululygyny kesgitläliň:

Turbageçirijide akymyň hakyky tizliginiň ululygy:

$$\vartheta = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0.015}{3.14 \cdot 0.15^2} = 0.85 \frac{m}{sek}.$$

Hakyky tizligiň $\vartheta = 0.85 \frac{m}{sek}$ ululygy turbageçirijiniň akymynyň kwadratly garşylygy üpjün edýän $\vartheta_{kw} = 0.85 \frac{m}{sek}$ tizlikden tapawutlylygy sebäpli kitabyň 5.2-nji tablisasyndan degişli düzediş koeffisiýenti kabul edýäris, φ=1.14. Onda turbageçirijiniň hakyky udel garşylygy

$$S_0^1 = S_{0.kw} \cdot \varphi = 19.15 \cdot 1.14 = 21.83 \frac{s^2}{m^6}$$

deň bolan hem-de bu garşylyk turbageçirijiniň ahyrky nokadynda naporyň aşakdaky ululygyny döreder:

$$H_2^1 = H_1 - 1.1 \cdot S_0^1 lQ^2 = 32 - 1.1 \cdot 21.83 \cdot 1000 \cdot 0.015^2 = 26.6m$$

Şeýlelikde sarp edijä gelýän suwyň napory onuň talap edýän naporyndan has uly, ýagny $H_2^1 > H_2$ ýa-da 26.6m>14.0m. Artykmaç erkin napory kadalaşdyrmak üçin berlen l uzynlykly turbageçirijini uzynlyklary l_1 we $l_2 = l - l_1 = 1000 - l_1$ bolan iki bölege bölmek meseläniň amatly we rasional çözgüdi bolar.

Bölekleriň diametrlerini d_1=150mm we d_2=100mm ululykda kabul edýäris. Onda meseläniň çözülişi yzygiderli birleşdirilen basyşly turbageçirijilere getiriler.

Ikinji d_2=100mm bölegiň ϑ_2 tizligini we $S_{0.kw}^{II}$ udel garşylygyny kesgitleýäris:

$$\vartheta_2 = \frac{4 \cdot 0.015}{3.14 \cdot 0.1^2} = 1.91 \frac{m}{sek}$$

Alynan $\vartheta_2 = 1.91 \frac{m}{sek}$ tizlik $\vartheta_{kw} = 1.2 \frac{m}{sek}$ tizlikden tapawutlanýandygy sebäpli $\varphi = 1.0$, $S_{0.kw}^{II} = 1.08 \cdot 158.06 = 170.7 \frac{s^2}{m^6}$.

Yzygiderli birleşdirilen turbageçirijiler üçin:

$$H_1 - H_2 = h_1 + h_2 = 1.1[S_{0.kw}^{I} \cdot l_1 + S_{0.kw}^{II} \cdot (l - l_1)] \cdot Q^2$$

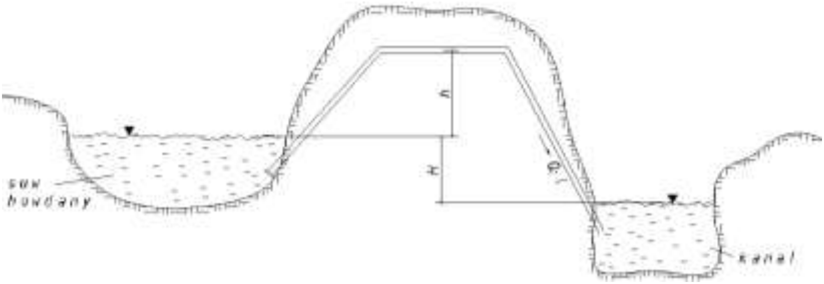
$$32 - 14 = 1.1[21.83 \cdot l_1 + 170.7(1000 - l_1)] \cdot 0.015^2$$

$$l_1 = 93m, \quad l_2 = 1000 - 93 = 907m$$

Bu ýerde $h_1 = 1.1 \cdot S_{0.kw}^{I} \cdot l_1 \cdot Q^2$ we $h_2 = 1.1 \cdot S_{0.kw}^{II} \cdot (l - l_1) \cdot Q^2$ turbageçirijileriň böleklerinde döreýän naporyň ýitgileri.

2. Aşakdaky berlen ululyklara (P_1=490.35kPa; P_2=98.07kPa; l=3000m; Q=7m^3/sek) laýyklykda gorizontal demirbeton magistral suw geçirijiniň diametrini kesgitlemeli.

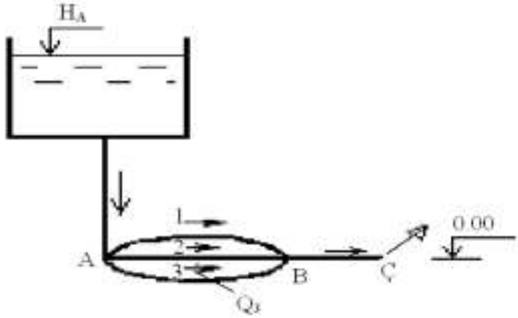
3. Suw howdanyndan magistral açyk kanala (5.16-nji surat) uzynlygy l=1500m sifon turbasy arkaly mukdary Q=700dm^3/sek suw akdyrylmaly.



5.16-njy surat

Suwyň otnositel derejeleriniň tapawudy H=10m bolan hereketlendiriji başlangyç napory üpjün edýän sifon diametrini kesgitlemeli. Sifon durnukly kadada işlemek üçin onuň maksimal h beýikligi näçe bolmaly? Sifonyň maksimal h beýikligi onuň başlangyç nokadyndan 0.25 l, 0.5 l we 0.75 l aralyklarda bolanda onuň geçirijilik ukyby nähili üýtgär? Sifon turbanyň materialy polat, sifonyň maksimal wakuumetrik beýikligi $h_w \leq 7.0$m.

4. Berlen ABÇ çylşyrymly turbageçirijileriň parallel 1, 2, 3 we yzygiderli BÇ birleşdirilen bölekleriniň berlen ululyklarynda (l_1=400m; l_2=200m; l_3=300m; $l_{BÇ}$=500m; d_1=250mm; d_2=200mm; d_3=189mm; $d_{BÇ}$=322mm; 1, 2 – polat turbalary; 3, BÇ – polietilen turbalary) döremeli başlangyç H_A naporyň ululygyny kesgitlemeli. ABÇ turbageçirijileriň bölekleri gorizontal tekizlikde ýerleşýärler, 3 parallel bölekdäki akymyň mukdary Q_3=30m^3/sek.



5.17-nji surat

5. Uzynlygy $l = 4.0km$ bolan polat nebitgeçirijiniň (d=400mm; Q=70dm^3/sek; δ=8mm) başlangyç nokadynda ýerleşdirilen nasosyň içki naporynyň ululygyny kesgitlemeli. Nebitgeçirijiniň ahyrky nokadynda ýerleşdirilen nebit rezerwuarynyň beýikligi H_R=12m, onda saklanýan nebitiň doýan bugunyň basyşy P_n=120kPa dykyzlygy $\mathcal{P}_n$=860kg/m^3, şepbeşikligi ν=0.438·10^{-4}m^2/sek. Nebitgeçirijiniň ahyrky nokadyndaky ýapyjy t=4.5sek wagtda ýapylanda onda döreýän gidrawliki urgynyň basyşyny kesgitlemeli.

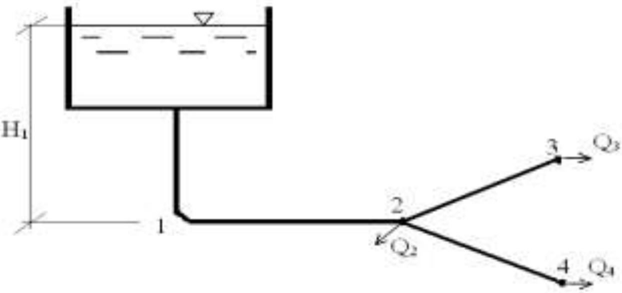
6. Magistral nebitgeçiriji (l=350km, d=529mm bolan täze polat turbalary) bir ýylda 8 mln tonna nebiti ($\mathcal{P}$=880kg/m^3, γ=1.2·10^{-4}m^2/sek) ojakdan NGYZ-da akdyrmaly. Her ýyl nebit akdyryjy ulgam iki gezek 7 günlik tilsimat arakesmesinden peýdalanýar. Nebitgeçirijiniň başky we ahyrky nokatlarynyň geodeziki beýiklikleri -50m tapawutlanýarlar. Kabul edilen nebit nasoslarynyň işçi basyşy P_{nas}=5.3Mpa bolanda NANS-nyň sanyny kesgitlemeli. NS-laryna girýän nebit akymynyň basyşy P≤0.45Mpa kiçi bolmaly däl. Nebit akdyryjy ulgamyň pýezometriki çyzygyny gurmaly.

7. Başlangyç deň şertlerde açyk rezerwuardan gorizontal, köp ýyl ulanylan polat turbasy (l=150m, d=100mm, $\sum\xi_ý$=15) arkaly 3 hili suwuklyk suw, dizel ýangyjy, transformator ýagy gezekli gezegine H=6m başlangyç napor bilen atmosfera erkin akyp çykýarlar. Suwuklyklaryň akymlarynyň mukdaryny kesgitlemeli.

8. Nebit gatlagyň işçi basyşynyň ululygyny saklamak üçin çuňlygy H=2000m bolan guýa nasos-kompressor polat turbasy (d=62mm, Δ_{ekw}=0.5mm) arkaly gije-gündizde 700m^3 suw akdyrylýar. Nebitli gatlagyň basyşy P_g=25Mpa bolanda, suw nasosyň (guýydan 1500m aralykda ýerleşen) işçi parametrleri (Q,H, N) kesgitlemeli.

9. Uzynlygy l=30km, diametri d=300mm bolan nebitgeçirijiniň geçirijilik ukybyny G_1=100tn/sag-dan G_2=130tn/sag çenli artdyrmak üçin ulanylan, uzynlygy l_l=10km bolan lupingiň (parallel çekilen goşmaça turba) diametrini kesgitlemeli. Akdyrylýan nebitiň dykyzlygy ρ=800kg/m^3, kinematiki şepbeşikligi ν=0.9 sm^2/sek, nebitgeçirijiniň başky nokadyndaky nasos stansiýasynyň işçi basyşy üýtgemeli däl.

10. 5.18-nji suratda şekillendirilen şahaly suw geçiriji set üçin aşakdaky gidrawliki hasaplamalary ýerine ýetirmeli: 3 we 4 ahyrky düwünlere gelýän suwyň mukdaryny kesgitlemek; 2 umumy düwünde goşmaça Q_2=10dm^3/sek suw alynanda turbageçiriji bölekleriň hem-de ahyrky düwünleriň akymlarynyň mukdary nähili üýtgärler (başlangyç we ahyrky naporlar üýtgemeli däl). Setiň turbalary polietilen (PE) materialyndan ýasalan. Setiň berlen ululyklary: düwünleriň geodeziki belgileri $Z_1=Z_3$=33m; Z_2=21m; Z_4=26m; başlangyç napor ýa-da naporly suw diňiniň beýikligi H_1=32m; ahyrky düwünlerde erkin naporyň ululygy $H_3=H_4$=12m; setiň hasaplama bölekleriniň uzynlyklary l_{1-2}=1200m; l_{2-3}=700m; l_{2-4}=850m we diametrleri d_{1-2}=300mm; d_{2-3}=200mm; d_{2-4}=150mm.



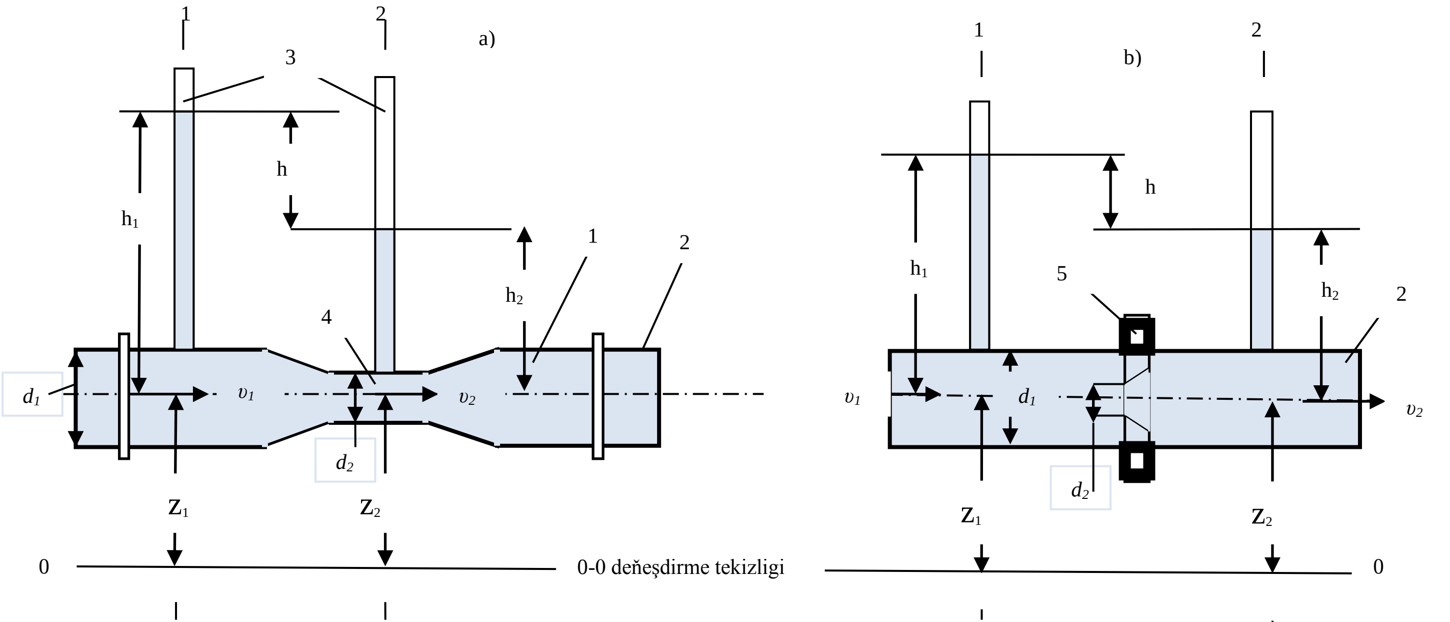
5.18-nji surat

5.13. Dürli gurallar bilen turbadan akýan suwukluk mukdaryny kesgitlemek diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň maksady: 1.Wenturiniň we diafragma suwukluk mukaryny ölçeýjileri bilen turbalardan akýan suwukluk mukdaryny ölçemäni öwrenmek. 2. Suwulkluk mukdaryny ölçeýji gurallaryň mukdarlyk koeffisiýentlerini tejribe esasynda kesgitlemek.

Gysgaça nazary maglumatlar

Wenturiniň we diafragmaly suwukluk mukdaryny ölçeýji gurallary özünüň ýönekeýligi bilen tapawutlanýar, sebäbi olar hereket etmeýän böleklerden düzülýär. Wenuriniň guralynyň we diafragmaly suwukluk mukdaryny ölçeýjiniň gurluşlary 5.19-njy suratda görkezilen.



5.19-njy surat. Wenturiniň a) we diafragmaly b) suwuklyk mukdaryny ölçeýji gurallaryň gurluşy; 1-Wenturiniň mukdar ölçeýji guraly; 2-$d_1$diametrli turba; 3-basyş naporlaryny ölçeýän pýezometrler; 4- Wenturiniň guralynyň d_2 kiçi diametrli turbasy; 5- d_2 diametrli diafragmaly mukdar ölçeýji gural; 1-1 we 2-2 - Bernulliniň deňlemesini üçin seredilýän kesimler.

P_1 *we* P_2 - kesimlerdäki basyş, *Pa*;

γ - suwuklugyň udel agramy, *N/m*^{3};

α_1 we α_2 – şol kesimlerde Koriolisiň koeffsiýentleri;

υ_1 we υ_2 – kesimlerdäki suwuklugyň akýan tizlikleri, *m/s*;

g – erkin gaçmanyň tizlenmesi, *m/s*^{2};

h_{1-2} – 1-1 we 2-2 kesimleriň aralygynda basyş naporynyň ýitgileri, *m.*

Wenturiniň suwukluk mukdaryny ölçeýji guraly

Wenturiniň guralynyňkese girzontal tekizlikde ýerleşýäni sebäpli $z_1 = z_2$ hem-de 1-1 we 2-2 kesimleriň golaý ýerleşmegi we $d_1 - d_2$ diametrli tutbalaryň konys görnüşinde sepleşmegi sebäpli kesimleriň aralygynda basyş naporynyň ýitgileri nola golaý diýip alyp bolar $h_{1-2} \approx 0$. Turbalardaky suwukluk akymy turbulent kada ýagdaýynda Koriolisiň koeffsiýentlerini$\alpha_1 = \alpha_2 \approx 1$ alyp bolar.

Bu şertleri hasaba almak bilen Wenturiniň guraly üçin deňlemäni şu görnüşe getirip bolar.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\upsilon_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\upsilon_2^2}{2g}$$ ýa-da:

$$\frac{\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = h \qquad (1)$$

Bu ýerde: *h* –pýezometrleriň görkezýän basyş naporlaryň ululyklarynyň aratapawudy, *m.*

Suwukluk akymynyň üznüksizlik deňlemesine laýyklykda kesimlerden akyp geçýän suwukluk mukdarlaryny *Q* şu görnüşde ýazyp bolar.

$$Q = Q_1 = Q_2 = \upsilon_1 \cdot \omega_1 = \upsilon_2 \cdot \omega_2$$

Bu ýerde: $Q = Q_1 = Q_2$ – hemme kesimlerde deň bolan suwukluk mukdary, *m*^{3}*/s*;

ω_1 weω_2- kesimlerde akymyň kese-kesikleriniň tutýan meýdanlary, *m*^{2}

Seredilýän kesimlerde suwukluk tiliklerini şu gärnüşde ýazyp bolar:

$$\upsilon_1 = \frac{Q}{\omega_1} \text{ we } \upsilon_2 = \frac{Q}{\omega_2} \qquad (2)$$

$$\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$$

bu ýerde: -d_1 wed_2 – Wenturiniň ölçeýji guralynyň giň we dar ýerleriniň diametrleri, *m*.

(2) – nji aňlatmadaky ýazgyny (1) – nji deňlemä goýsak şu görnüşi alyp bolar.

$$\frac{\left(\frac{Q}{\omega_2}\right)^2 - \left(\frac{Q}{\omega_1}\right)^2}{2g} = h \quad \text{ýa-da:} \frac{Q^2}{2g} \cdot \left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}\right) = h \text{Bu ýerden:}$$

$$Q^2 = \frac{2gh}{\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}} \quad \text{we} \quad Q = \sqrt{\frac{2gh}{\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}}} \qquad (3)$$

Hasaplamalarda ýönekeýleşdirmeler girizileni sebäpli (3)-nji aňlatma adaty (μ) mukdarlyk koeffsiýenti girizilip, hakyky suwukluk mukdary (Q_h) (4)-nji ahlatma bilen hasaplanýar.

$$Q_h = \mu \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}}} = \mu \cdot A \cdot \sqrt{h} \qquad (4)$$

Bu ýerde:$A = \sqrt{\frac{2g}{\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}}} = \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}$

A – drossellik koeffsiýenti.

μ–mukdarlyk koeffsiýenti ekisperimental ugur bilen kesgitlenýär we adaty $\mu = 0{,}09 \div 0{,}98$ aralykda bolýar:

$$\mu = \frac{Q_h}{Q} \qquad (7)$$

Ölçeýji guraldan akyp geçýän hakyky suwukluk mukdaryny Q_h tejribehanalarda ölçegler esasynda kesgitläp bolar.

Diafragmaly suwukluk mukdaryny ölçeýji guraly

Diafragmaly ölçeýji guraly üçin: $z_1 = z_2$; $\upsilon_1 = \upsilon_2 = \upsilon$; $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ şertleri kabul edip Bernulliniň (1)-nji deňlemesini şu görnüşde ýazyp bolar.

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + h_{1\text{-}2} \qquad (7)$$

Ýa – da: $$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = h_{1\text{-}2} = h$$

Iki kesimiň arasy golaý bolmagy sebäpli turbanyň uzynlygy boýunça basyş naporynyň ýitgileri$h_g \approx 0$ we $h_{1\text{-}2}$ ýerli ýitgilere deň edip alyp bolar.

$$h_{1\text{-}2} = h_ý \qquad (8)$$

bu ýerde; $h_{1\text{-}2}$ we $h_ý$ – turbanyň uzynlygy boýunça we ýerli ýitgiler, m

Diafragmadaky basyş naporynyňýerli ýitgileri Weýsbahyň aňlatmasy bilen hasaplap bolar.

$$h = h_{1\text{-}2} = h_ý = \xi_d \cdot \frac{\upsilon_1^2}{2g} \qquad (9)$$

ξ_d– diafragma üçin ýerli garşylyk koeffsiýenti, diafragmanyň geçelgesiniň we turbanyň kese-kesikleriniň tutýan meýdanlarynyň gatnaşygyna $\left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)$ bagly bolup, ekisperimental ugur bilen kesgitlenip tablisa görnüşinde berilýär (1-nji tablisa)

1-nji tablisa

$\frac{\omega_1}{\omega_2}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ξ_d	226	47,8	17,5	7,8	3,75	1,80	0,80	0,29	0,06	0,0

Suwuklugyň akýan tizligi (υ) (9)-nji aňlatmadan hasaplanýar:

$$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{2gh}{\xi_d}} \qquad (10)$$

Diafragmadan geçýän suwukluk mukdaryny (Q) aňlatma bilen hasaplap bolar.

$$Q = \upsilon_1 \cdot \omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2gh}{\xi_d}} = \omega_1 \cdot \sqrt{\frac{2gh}{\xi_d}} = A_1 \cdot \sqrt{h} \qquad (11)$$

Bu ýerde:

$$A_1 = \omega_1 \cdot \sqrt{\frac{2g}{\xi_d}} \qquad (12)$$

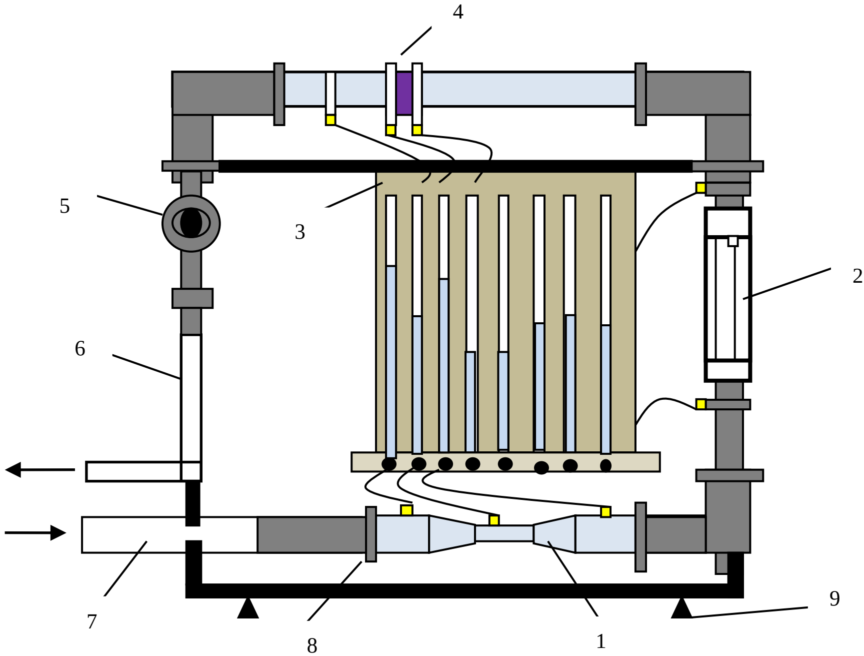
A_1 – diafragmaly suwukluk ölçeýjiniň drossellik koeffsiýenti, $\frac{m^{2,5}}{s}$

Diafragmadan geçýän hakyky suwukluk mukdary (Q_h) mukdarlyk koeffsiýentini (μ_d) girizmek netijesinde şu aňlatma boýunça hasaplap bolar:

$$Q = \mu_d \cdot A_1\sqrt{h} \qquad (13)$$

Tejribe işini geçirmekde ulanylýan gurallaryň häsýetnamasy

Tejribe işlerini geçirmek üçin “Armfield” kompaniýasynyň inženerçilik okuw enjamlarynyň turbalardaky suwukluk akymyny ölçemek üçin niýetlenen F1-21 guraly ulanylýar. Guralyň daşky görnüşi, gurluşy we aýra bölekleri 5.19-njy suratda görkezilen.



5.20-nji surat. F1-21 suwuklukmukdaryny ölçeýji tejribe gurallaryň daşky görnüşi, gurluşy we esasy bölekleri:
1-Wenturiniň suwukluk mukdaryny ölçeýji guraly; 2-göwrüm – meýdan usully ölçeýji enjam; 3-pýezomertler; 4- diafragmaly ölçeýji guraly; 5-suwukluk akymyny sazlaýjy wentil; 6-suwuklugy çykarýan maýşak turba; 7-suwuklugy berýän maýşak turba;
8-adaty birleşme; 9-direg.

F1-21 guraly işe girizmek üçin ony F1-10 gidrawliki gabyň üstünde ýerleşdirmeli we berkitmeli. Gidrawliki gapdan gelýän maýşak turbany guralyň turbasyna (7) birikdirmeli. Suwy alyp gidýän 6-nji maýşak turbany gidrawliki gabyň içine ýerleşdirmeli. F1-10 gidrawliki gabynyň nasosyny işe girizmeli. 5-nji Wentlini açyp suw mukdaryny sazlap ölçegleri geçirmeli we 2-nji tablisa bellemeli.

2-nji tablisa

Ölçegleriň netijeleri we hasaplamalar

t/b	Ady	Ölçeg birligi	Belgisi	Ölçeg ululygy	Goşmaça maglumatlar
			Wenturiniň guraly boýynça ölçegler:		
1	Turbanyň diametri	*m*	d_1	0,03175	Içki diametri ölçeg esasynda kesgitlenip bilner.
2	Wenturiniň guralynyň dar ýeriniň turbasynyň diametri	*m*	d_2	0,015	Içki diametri ölçeg esasynda kesgitlenip bilner.
3	1-nji(h_1) we 2-nji(h_2) pýezometrleriň basyş naporyny görkezýän ululyklarynyň aratapawudy.	*m*	h		$h=h_1–h_2$ölçeg esasynda kesgitlenýär
4	Turbadan akyp geçen suwuň göwrümi	m^3	V		F1-10 gidrawliki gabyň ölçeg gabyndan kesgitlenýär litrde ölçegi 1000 m^3geçiriňp ýazýarys
5	V göwrümiň suwdan dolýan wagt dowamy	*s*	t		Ölçeg gabynyň wuwdan dolýan wagt sekundamr bilen ölçeg edilýär

1	**Hasaplamalar:** Turbadan akyp geçen hakyky suw mukdary	m^3/s	Q_h		Akyp geçen suwukluk $Q=\frac{V}{t}=\frac{gõwrümi}{wagyt\ dowamy}$
2	Turbanyň kese-kesiginiň tutýan meýdany	m^2	ω_1	0,000791	$\omega_1=\frac{\pi d_1^2}{4}$
3	Wenturiniň guralynyň dar ýeriniň turbasynyň kese-kesiginiň meýdany	m^2	ω_2	0,000177	$\omega_2=\frac{\pi d_2^2}{4}$
4	Wenturiniň guralynyň ölçegleri esasynda kesgitlenen nazary suw mukdary	m^3/s	Q		$Q=\sqrt{\frac{2g}{\frac{1}{\omega_2^2}-\frac{1}{\omega_1^2}}}$ g = 9,81 m/s^2
5	Wenturiniň guralynyň mukdarlyk koeffisiýenti	-	μ		$\mu=\frac{Q_h}{Q}$
6	Wenturiniň guralynyňdrossellik koeffisiýenti	$m^{2,5}/s$	A		$A=\sqrt{\frac{2g}{\frac{1}{\omega_2^2}-\frac{1}{\omega_1^2}}}$

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1. Wenturiniň ölçeýji guralynyň gurluşy
2. Diafragmaly ölçeýji guralyň gurluşy
3. Wenturiniň we diafragmaly ölçeýji gurallary bilen suwukluk mukdary nahili ölçeg edilýär?

Edebiýatlar:

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.

2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.

3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.

4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Flow Meter Demonstration. Instruction Manual F1-21, 2011, 23 p.

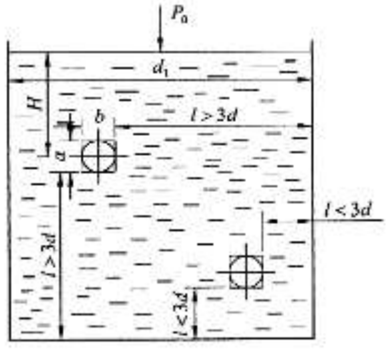
VI BAP.

SUWUKLYGYŇ DEŞIKLERDEN WE OTURTMALARDAN AKYP ÇYKYŞY

Belli bir wagtyň 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 akymyň parametrlerini kesgitlemek meselesini çözmeli bolýar.Bu bapda amalyýetde gabat gelýän käbir anyk meseleler çözülip görkezilýär.

6.1. Ýuka diwardaky kiçi deşikden hemişelik naporda akyp çykmak

Kiçi desik diýip d diametri ýa-da h beýikligi onuň agyrlyk merkeziniň H çuňlugyndan has kiçi bolan ýagdaýda 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).

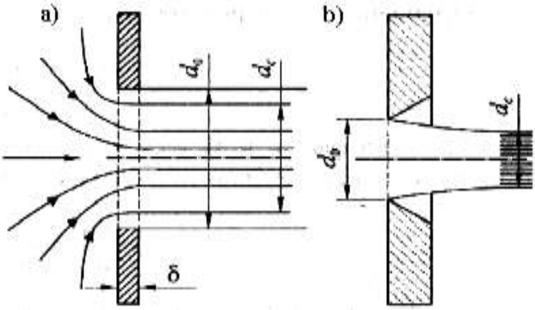


Sur. 6.1 Kiçi deşikler.

Ýuka diwar diýlip, ýylmanan erňekli diwara, onuň galyňlygy $\delta < 0{,}2d$ bolanda we akymyň akyp çykmaklygynyň şertlerine we şekiline täsir etmäninde aýdylýar. Beýle deşigiň üstünden akyp geçýan akym deşigiň giriş erňekleriniň diňe ýerli garşylyklaryny ýeňip geçýär we deşigiň içerki diwaryna 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* naporyň täsiri netijesinde 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 durnykly 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 üst dartylma güýçleriniň täsiri astynda onuň şekiliniň deformasiýasy bolup geçýär. Meselem, inedördül deşikden akyp çykýan akymyň kesigi deňuçly haçyň görnüşini alýar; üçburçly deňtaraply deşikden akyp çykanynda — üçuçly ýyldyzyň görnüşini alýar. Bu hadysa çüwdürimiň *inwersiýasy* 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 erňekli diwarda

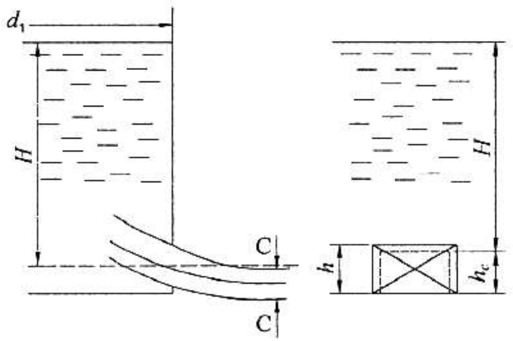
Deşigiň rezerwuaryň (gabyň) beýleki diwarlaryna görä ýagdaýyna baglylykda kämil we kämil däl, doly we doly däl gysylmalary bolan deşikleri tapawutlandyrýarlar.

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 golaýynda ýerleşýär. Bu ýagdaýda diwaryň ýakynlygy öňki ýagdaýdakyda bolanyndan az gysylmaklygy ýüze çykarýar, ýagny akymyň gysylan kesiginiň meýdany kämil gysylmakdakydan uly bolar. Emma akymyň gysylmaklygy doly we ählitaraplaýyn bolar.

Doly däl we kämil däl gysylan akymly deşik haçan-da gabyň diwarlarynyň birine galtaşýan ýagdaýynda bolar (sur. 6.3). Bu ýagdaýda gysylmak deşigiň ähli perimetri boýunça bolman, eýsem onuň degişli böleginde bolar.

Suratlarda belgilenilendirler: d_0 — desigiň diametri, d_c — gapdan akyp çykýan akymyň gysylan kesiginiň diametri, d_1 — gabyň (rezerwuaryň) diametri.



6.3-nji surat.
Doly däl we kämil däl gysylan akymly deşikler.

Gysylan akymyň meýdanynyň deşigiň meýdanyna gatnaşygy

$$\varepsilon = \frac{\omega_{gys}}{\omega_0} = \left(\frac{d_c}{d_0}\right)^2 \tag{6.1}$$

akymyň gysylmak koeffisiýenti diýlip atlandyrylýar (10.3 formula hem serediň). ε koeffisiýent gysylmaklygyň derejesiniň funksiýasydyr:

$$n = \frac{\omega_0}{\omega_1} = \left(\frac{d_0}{d_1}\right)^2. \tag{6.2}$$

N.E.Žukowskiniň nazary formulasy boýunça

$$\varepsilon = \frac{\pi}{\pi + 2\dfrac{2\theta}{tg 2\theta}}, \tag{6.3}$$

bu ýerde

$$tg\left(1+\frac{2}{\pi}\frac{2\theta}{tg2\theta}\right)=n \qquad (6.4)$$

(6.3) we (6.4) aňlatmalar tekiz yşdan akyp çykmak ýagdaýy üçin hem getirilip bilinerler. 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:

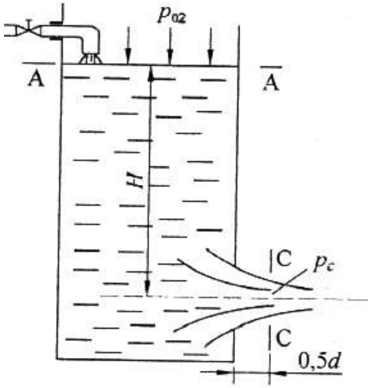
$$\varepsilon=0{,}57+\frac{0{,}43}{1{,}1-n}$$

ol n ululygyň 0-dan 1-e çenli aralykdaky bahalarynyň çäklerinde tejribeden bolan maglumatlary bilen gowy sazlaşýarlar.

Hususan hem, $n\to 0$ bolanda (uly ölçeglerdäki rezerwuardaky deşik) (6.3) formuladan gelip çykýar:

$$\varepsilon=\frac{\pi}{\pi+2}\cong 0{,}611,$$

Köp sanly tejribe maglumatlary boýunça $n\cong 0$ bolanda $\varepsilon=0{,}604$.



6.4-nji surat. Rezerwuardan suwuklygyň akyp çykmagy.

Hemişelik basyşda, ýuka diwary çäkli ölçegli rezerwuardan kiçi deşik arkaly atmosfera suwuklygyň akyp çykmagy 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 napor;

p_{oc} we V_{oc} — A–A üstdäki basyş we bu kesikdäki akymyň tizligi;

p_c we V_c — gysylan kesikdäki şolar ýaly görkezijiler;

$$h_w = \zeta_0 \frac{V_c^2}{2g} \quad , \qquad (6.6)$$

deşikden akýan akymyň naporynyň ýerli ýitgisi.

(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 atmosferanyň basyşyna deňdigini belläliň. Seredilýän ýagdaýlarda uly bolmadyk nätakyklyklara ýol bermän $\alpha_{oc} = \alpha_c = 1$ diýip kabul edip bolar.

Erkin üstli rezerwuar

Bu ýagdaýda $p_a = p_0$ — atmosfera basyşyna deňdir. Onda $p_a - p_c = 0$ we $H = const$ bolanda alarys:

$$V_c = \varphi\sqrt{2gH}, \tag{6.11}$$

bu ýerde $\alpha_c = \alpha_{oc} = 1$ bolanda

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_0 - \varepsilon^2 n^2}}. \tag{6.12}$$

Eger-de üstüň A meýdany deşigiň meýdanyndan has uly bolsa, onda $n \approx 0$ we

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_0}}. \tag{6.13}$$

Ideal suwuklyk üçin $\zeta_0 = 0$ we $n = 0$ bolanda alýarys:

$$V_c = \sqrt{2gH}. \tag{6.14}$$

bu Torriçelliniň erkin üstli uly rezerwuardan suwuklygyň akyp çykma tizligi üçin nazary formulasydyr.

Deşikden akyp çykýan suwuklygyň mukdary:

$$Q = V_c \omega_c ,$$

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

$$\mu = \varepsilon \varphi = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \zeta_0 + \varepsilon^2 n^2}} \text{ —} \tag{6.17}$$

mukdar koeffisiýenti, $n = 0$ bolanda $\mu = \dfrac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_0}}$.

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 —şepbeşikligiň kinematiki koeffisiýenti.

Beýleki deň şertlerde mukdar μ koeffisiýentiniň Re sana baglylygy, deşigiň ýiti erňekleri bolanynda, 7-nji tablisada getirilendir.

7-nji tablisa

$\mu = f(Re)$ 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): $\varphi = 0{,}97$; $\varepsilon = 0{,}62$; $\mu = 0{,}60$. $\xi_0 = 0.063$.

Hemişelik üst basyşly ýapyk rezerwuarlar

Bu ýagdaýda gysylan kesikdäki tizlik (6.9) we φ koeffisiýent (6.12) ýa-da (6.13) formulalar boýunça kesgitlenip bilnerler. Eger-de gap $p_1 = const$ basyş astynda doly doldurylan bolsa, onda $H = 0$ bolanda

$$V_c = \varphi\sqrt{2g\frac{p_1 - p_0}{\rho g}}\ . \tag{6.18}$$

Suwuklyk akymynyň mukdary $Q = V_c\omega_{ct} = V_0\varepsilon\omega_0$ deňlige we (6.9) we (6.18) formulalara laýyklykda, $H \neq 0$ bolanda aşakdaky formulalar boýunça kesgitlenilýär:

$$Q = \varepsilon\varphi\omega_0 V_c = \mu\omega_0\sqrt{H + 2g\frac{(p_1 - p_2)}{\rho g}}\ , \tag{6.19}$$

bu ýerde

$$\mu = \varepsilon\varphi = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \zeta_0 + \varepsilon^2 n^2}}\ , \tag{6.20}$$

ýa-da $H \approx 0$ bolanda:

$$Q = \mu\omega_0\sqrt{2g\frac{p_1 - p_2}{\rho g}}\ , \tag{6.21}$$

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 düýpdäki okdaş deşikden akyp çykmak.

Hemişelik basyşda ýuka diwardaky tegelek deşik arkaly akyp çykmaklyga seredýäris. Bu ýagdaýda tizlik (6.16) formula boýunça kesgitlenilýär, bu ýerde H — gidrostatiki naporlaryň tapawudydyr, ol deňdir

$$H = \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g}\right) = z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho g} = h - \frac{p_1 - p_2}{\rho g}. \quad (6.22)$$

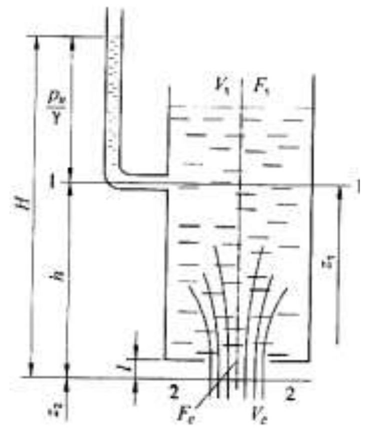
(6.12) we (6.17) formulalarda akymyň gysylmak ε koeffisiýentini uly Re sanlarda ($\mathrm{Re} > 10^5$) şu empiriki formula boýunça kesgitläp bolar:

$$\varepsilon = 0,62 + 0,38\left(\frac{\omega_0}{\omega_1}\right)^2, \quad (6.23)$$

bu ýerde ω_0 — desigiň meýdany, hem-de kabul edýärler $\zeta_0 = 0,06$; ω_1 — rezerwuaryň kesiginiň meýdany.

Çäk ýagdaýda ýagny $n = \frac{\omega_0}{\omega_1} = 0$ bolanda φ ululygy (6.13) formula boýunça kesgitleýärler we $\mu = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_0}} = \varphi\varepsilon$.

Akyp çykmaklygyň tizligini we mukdaryny (6.18) we (6.19) formulalar boýunça tapýarlar.



6.5-nji surat. Düýpdäki simmetriki deşik boýunça akyp çykmak.

Dereje astyna akyp çykmak

Suwuklygyň bir rezerwuardan, şol bir suwuklyk bilen doldurylan beýlekisine ýuka diwardaky deşik arkaly akyp geçmekligi, dereje astyna ýa-da iki tarapy hem suwuklyklarda ýerleşen deşik arkaly akmak ýagdaýy emele gelýär. (sur. 6.6). A rezerwuardan B rezerwuara akyp geçýän akym hem gysylmaýandyr. Gysylan ω_2 kesikdäki basyş, şol sanda ähli B rezerwuardaky basyş ýaly gidrostatiki kanun boýunça paýlanylýar.

D.Bernulliniň I-I kesik üçin we C-C gysylan kesik üçin deşigiň oky bilen gabat gelýän O-O kese 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 $V_0 = 0$.

Şulary 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

$$V_c = \varphi\sqrt{2g(H_1 - H_2)} = \varphi\sqrt{2gH_0}$$

bu ýerde

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_0 + \zeta_0}}. \qquad (6.26)$$

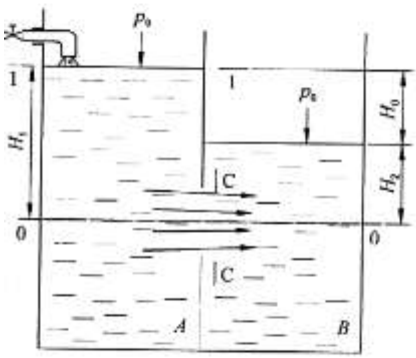
Beýle ýagdaýda akymyň mukdary deň bolar

$$Q = \mu\omega_0\sqrt{2gH}, \qquad (6.27)$$

bu ýerde

$$\varphi = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\alpha_0 + \zeta_0}}. \qquad (6.28)$$

Düzgün bolşy ýaly, φ we μ ululyklaryň bahalaryny suwa basdyrylmadyk deşik arkaly akyp çykmaklygy hasaplamakdaky bahalara 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 üstine görä deşigiň çuňlugyny *H* arkaly belläliň, 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 döreýän elementar akymyň mukdaryny (6.16) formula meňzeşlikde şeýle aňladyp bolar:

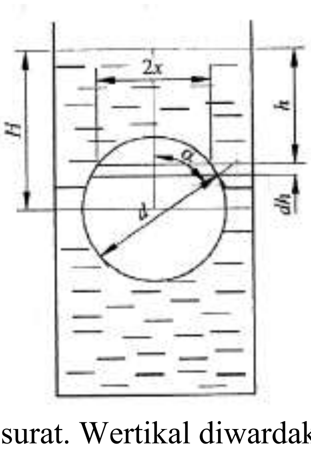
$$dQ = \mu d\omega\sqrt{2gh} = 2\mu x\sqrt{2gh}dh. \qquad (6.29)$$

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) bilelikde seredip 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, tutuş deşik arkaly suwuklygyň mukdaryny kesgitlemek bolar:

$$Q = \int_0^\pi 2\mu r^2 \sqrt{2gH} \sqrt{1 - \frac{r}{H}\cos\alpha} \cdot \sin^2\alpha \, d\alpha =$$

$$= 2\mu r^2 \sqrt{2gH} \int_0^\pi \sin^2\alpha \sqrt{1 - \frac{r}{H}\cos\alpha} \, d\alpha \, .$$

Soňky deňligiň sag bölegindäki integral diňe takmynan çözülip bilner hem-de aşakdaky netije alynar:

$$Q = \mu \left[1 - \frac{1}{3\pi} \left(\frac{r}{H} \right)^2 \right] \pi r^2 \sqrt{2gH}$$

ýa-da, $\frac{r}{H}$ ululygyň kiçi bahalarynda, kwadrat ýaýlardaky ikinji agzany hasaba alman, alýarys:

$$Q = \mu \pi r^2 \sqrt{2gH} = \mu \omega_0 \sqrt{2gH} \, , \qquad (6.32)$$

bu ýerde $\omega_0 = \pi r^2$ - uly deşiginiň meýdany.

(6.32) formulanyň praktikada, has takyk formula alnan kwadrat görnüşliden başga islendik görnüşli uly deşiklerden akyp çykmakda akymyň mukdaryny kesgitlemek üçin ulanylýandygyny bellemek gerekdir.

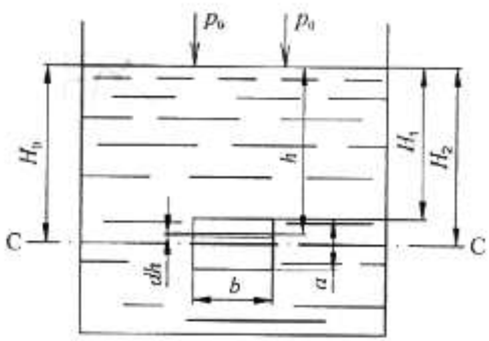
Akymyň orta tizligi belli baglanyşykdan kesgitlenilýär:

deşikde — $V_0 = \dfrac{Q}{\omega_0}$;

daralan kesikde — $V_c = \dfrac{Q}{\omega_c}$.

Wertikal diwardaky göniburçly deşik

Goý, suwuklyk atmosfera giňişligine hemişelik basyşda uly deşigiň üsti bilen akyp çyksyn, bu deşigiň beýikligi onuň 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. Onuň hilli bir meýdanjygyň üsti bilen *h* çuňlukdan akyp çykýan elementar mukdary 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 mukdar koeffisiýenti.

Doly Q sarp etmekligi deşigiň ähli meýdany boýunça elementar mukdarlary 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 ýönekeýleşdirmek üçin(sur. 6.8) görnüşi ýaly

$$H_1 = H_0 - \frac{a}{2} \text{ we } H_2 = H_0 + \frac{a}{2}$$

ýazyp bolar:
Onda

$$Q = \frac{2}{3}\mu_m b \sqrt{2g}\left[\left(\mathrm{H}_0 + \frac{a}{2} \right)^{\frac{3}{2}} - \left(\mathrm{H}_0 - \frac{a}{2} \right)^{\frac{3}{2}} \right].$$

Tegelek ýaýlardaky iki agzalary 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

$$Q \cong \mu_b ab\sqrt{2gH_0} = \mu_b \omega_0 \sqrt{2gH_0}\,, \qquad (6.35)$$

ýagny bu (6.32) deňlige meňzeşdir.

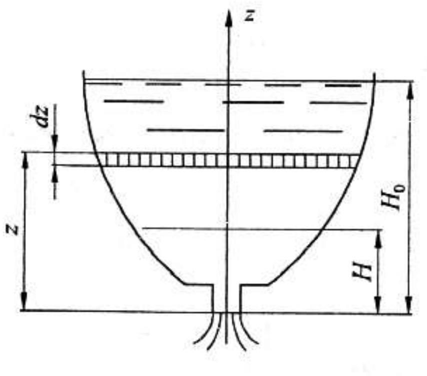
Uly deşikler üçin, mukdar μ_b koeffisiýentiniň ululygy tejribeleriň maglumatlaryna görä deşigiň görnüşine baglylykda 0,65-0,90 çäklerde ýerleşendir. Göniburçly deşik üçin:

$$\mu_b = \mu_m\left(1 - \frac{1}{96}\frac{a^2}{H_0^2}\right). \qquad (6.36)$$

Ýiti erňekli uly deşikler üçin turbulent kadada akyp çykmaklykda $\mu_b = 0{,}60 \div 0{,}65$.

6.3. Üýtgeýän naporda 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 üýtgeýän naporda akyp çykmaklyk

Suwuklygyň *z* derejesiniň *dz* beýiklige peselmeklik prosesiniň differensial deňlemesi akymyň üznüksizlik deňlemesiniň esasynda şeýle görnüşde ýazylar:

$$\Omega(z)V_z = \Omega(z)\frac{dz}{dt} = Q_z$$

ýa-da

$$\Omega(z)dz = Q_z dz\,, \qquad (6.37)$$

bu ýerde $\Omega(z)$ — erkin görnüşli rezerwuarda, deşiginiň erňeginden z beýiklikde akyp çykmaly suwuklygyň erkin üstüniň meýdany;

dz — dt wagtda rezerwuarda suwuklygyň derejesiniň peselmekligi.

Q_z — dt wagtda z naporda akyp çykmaklygyň deşikdäki mukdary.

Derejäňiň peselmek tizligini we inersiýa güýçlerini hasaba alman, hem-de dt wagt dowamynda akyp çykmaklyk prosesini durnukly 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 rezerwuaryň daşyndaky 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 —deşiginiň meýdany, ε — akymyň daralmak koeffisiýenti, $\varphi = \dfrac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta}} \cong \dfrac{1}{\sqrt{1+\zeta}}$ — deşigiň tizlik koeffisiýenti, $\mu = \varepsilon\varphi$ — deşigiň mukdar koeffisiýenti.

(6.38) deňligi (6.37) deňlige goýup, derejäniň dz ululyga peselmekliginiň dt wagtyny kesgitlemek üçin aňlatmany alýarys

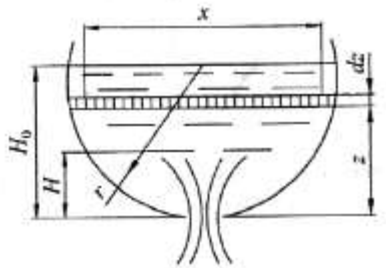
$$dz = -\frac{\Omega(z)dz}{\mu\omega_0\sqrt{2gz}}.$$

Adatça, az şepbeşikli suwuklyklar akyp çykanlarynda (suw, benzin we ş.m.) akym turbulent kadada bolar we deşigiň mukdar koeffisiýenti hemişelik bolar. Gabyň bölekleýin boşamaklygynyň wagtyny (derejäniň H_0-dan H-a çenli peselmekligi) soňky deňlemäni integrirläp tapýarys:

$$t = -\frac{1}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\int_{H_0}^{H}\frac{\Omega(z)dz}{\sqrt{z}} = \frac{1}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\int_{H}^{H_0}\frac{\Omega(z)dz}{\sqrt{z}}. \qquad (6.39)$$

Eger-de $\Omega(z)$ meýdany z napora bagly funksiýa hökmünde analitiki aňladyp bolsa, onda (6.39) deňligiň sag tarapyndaky integraly hasaplap bolar. Käbir hususy ýagdaýlara seredeliň.

Kese ýarymsilindr görnüşindäki rezerwuar



6.10-njy surat. Ýarym silindr şekilli rezerwuar.

Radiusy $r = H_0$ bolan ýarym silindriki gapdan akyp çykmaklyga seredeliň (sur. 6.10). Deşigiň erňeginden z beýiklikde erkin üstüň meýdany $\Omega(z) = xl,$ deňdir.

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

$$T=\frac{4}{3}\frac{\frac{1{,}83lH_0^2\pi}{2}}{\frac{\pi}{2}\mu\omega_0\sqrt{2gH_0}}$$

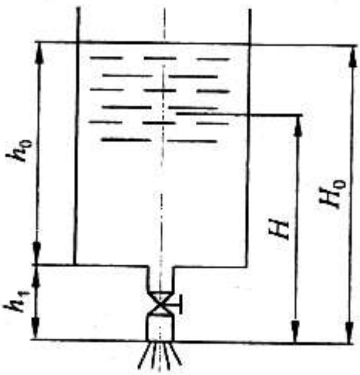
bu ýerde $\frac{\pi lH_0^2}{2}=\frac{\pi lR^2}{2}=W_0$ — rezerwuaryň başlangyç maksimal göwrümi (sebäbi $H_0=R$);

$\sqrt{2gH_0}\cdot\mu\omega_0=Q_0$ —akymyň başlangyç mukdary (başlangyç H_0 napordaky alynyp bilinjek mukdar).

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:

$$t=\frac{2\Omega}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\left(\sqrt{H_0}-\sqrt{H}\right). \tag{6.40}$$

Doly boşamaklygyň wagty deňdir:

$$T=\frac{2\Omega}{\mu\omega_0\sqrt{2g}}\left(\sqrt{h_0+h_1}-\sqrt{h_1}\right), \tag{6.41}$$

bu ýerde ω_0 — çykyş deşiginiň meýdany.

Eger-de akyp çykmaklyk düýpdäki deşik ýa-da geýdirilýän gysga oturtma arkaly 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.

$Q_0 = \mu\omega_0\sqrt{2gH_0}$ — akymyň başlangyç mukdary.

(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

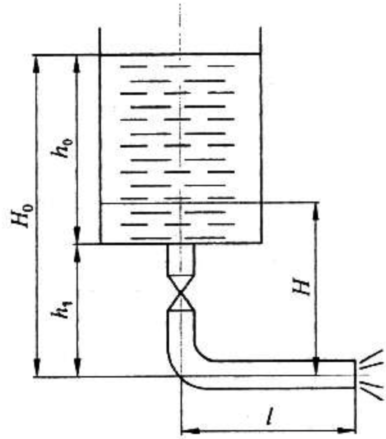
$$t = \frac{2\Omega(H_0 - H)}{Q_0 + Q} = \frac{W_0}{V_{or.}}, \qquad (6.43)$$

bu ýerde $W_0 = \Omega(H_0 - H)$ — rezerwuardan akyp çykýan suwuklygyň göwrümi;

$Q_{or.} = \frac{Q_0 + Q}{2}$ — t wagtda rezerwuardan akyp çykýan akymyň orta mukdary.

Prizmatiki rezerwuarda akym mukdarynyň wagta baglylygy göni baglanyşykdadyr, şonuň üçin akyp çykmaklygyň wagtyny orta arifmetiki sarp etmeklik boýunça hasaplamaklyk kanunydyr.

Gysga turbalar arkaly akyp çykmaklyk



6.12-nji surat. Turba arkaly akyp çykmaklyk

Akyp çykmaklygyň μ koeffisiýenti deşiginiň görnüşine baglylykda alynýar: düýpdäki deşikden akyp çykmaklykda az şepbeşikli suwuklyklar üçin: $\varphi = 0{,}97; \quad \mu = 0{,}62$ ululyklary kabul edip bolar.

Eger-de akyp çykmaklyk diametri *d* we uzynlygy *l* bolan turba arkaly bolup geçýän bolsa (sur. 6.12), akymyň mukdar 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 koeffisiýentleriniň jemi, λ —turbanyň gidrawiki sürtülme koeffisiýenti.

Örän şepbeşik suwuklyklar akyp çykanlarynda akymyň laminar kadada bolup biler we şonda akymyň mukdary (egerde turbanyň uzynlygy boýunça döreýän sürtülme ýitgiler bilen deňeşdireniňde ýerli ýitgileri hasaba alynmasa), akyp çykmaklygy *dt* wagt üçin durnukly diýip kabul etsek, 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:

$$t = \int_{H}^{H_0} \frac{\Omega(z)dz}{kz}.$$

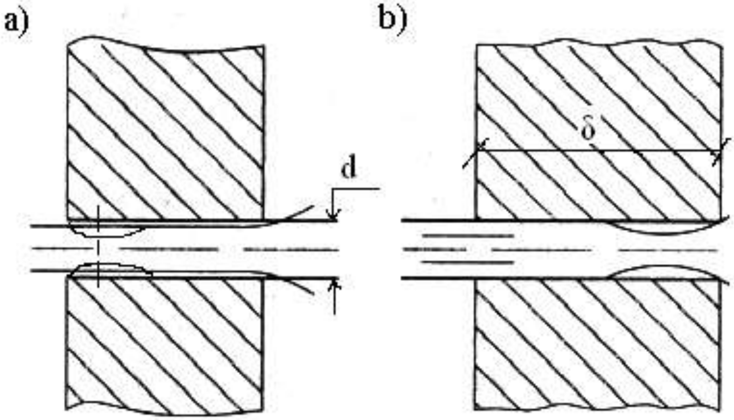
Prizmatiki gap üçin $[\Omega(z) = const]$ alarys

$$t = \frac{\Omega}{k} \ln \frac{H_0}{H}, \tag{6.47}$$

bu ýerde $H \le H_0$ (sur. 6.12).

6.4. Oturtmalar arkaly akyp çykmaklyk

Diwaryň galyňlygy deşigiň diametrinden δ≥0.2d bolanda akyp çykmaklygyň häsiýeti düýpli üýtgeýär. Bu ýagdaýda akyma deşigiň täsiri ýokarda seredilen mysallardan düýpli tapawutlanar. Suwuklyk akymy deşige girende onuň erňekleriniň garşylygy netijesinde gysylar. Deşigiň içki üsti we akymyň daralan böleginiň arasynda boşlyk emele gelýär. Emele gelen boşlyk halkasy akymyň ondan soňraky giňelmekliginde wakum zolagyna öwrüler. Şeýlelikde, deşikden akyp çykýan akymyň gysylan kesiginde döränwakuummetrik napor akymy hereketlendiriji goşmaça napora öwrüler hem-de akymyň ähli görkezijilerine položitel täsir ýetirer. Deşigiň galňlygy $\delta<0.2d$ bolanda akym daralmakdan soňraky giňelende deşigi doldurmaga ýetişmän hem biler we ondan daralan görnüşde çykar. Onda akymyň we deşigiň içki üstüniň arasyndaky boşluk daşarky gurşaw tarapyndan doldurylar hem-de deşikde wakuum zolagy döremez. Bu ýagdaýda galyň deşik ýuka diwarly deşik ýaly işlär. (sur 6.13).

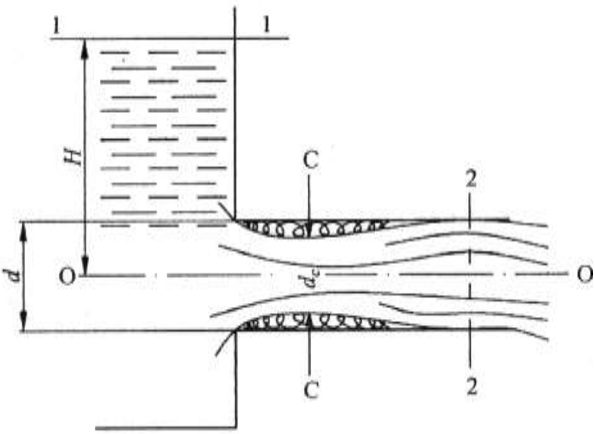


6.13-nji surat. Galyň diwardaky deşik arkaly akyp çykmak.

Eger-de galyň diwar arkaly akyp çykmaklyk durnukly kada boýunça bolup geçýän bolsa, onda deşigiň käbir amatly uzynlygynda (diwaryň galyňlygynda) akymyň mukdar μ koeffisiýenti ymykly artýar, emma akymyň akyşyna sürtülme garşylygyň artmaklygy sebäpli tizlik koeffisiýenti φ birneme peselýär. Başgaça aýdanyňda, galyň diwardaky deşigiň käbir optimal *l* uzynlygynda akyp çykmaklyk netijeli bolar, ýagny akymyň mukdary ýuka diwardaky şol bir *d* diametrli deşikden akyp çykanyndakydan uly bolar. Deşigiň optimal uzynlygynyň $l \geq (2 \div 3)d$ çäklerde bolýandygy nazary we tejribe derňewleriniň netijesinde subut edildi.

Emma rezerwuarlaryň diwarlarynyň galyňlygy olaryň berklik şertini üpjün etmek boýunça talap edilýän ululykdan artdyrmaklygyň ykdysady taýdan bähbitli däldigi aýdyňdyr. Şonuň üçin ýuka diwarlardaky deşikleriň uzynlygyny ýörite ýasalan gysga turbalaryň ýa-da oturtmalaryň kömegi bilen emeli usulda artdyrýarlar. Oturtmalaryň içki diametri rezerwuaryň diwaryndaky deşigiň diametrine deň kabul edilýär. Görnüşi boýunça oturtmalar silindriki — daşarky we içerki, koniki — daralýan (konfuzorlar) we giňelýän (diffuzorlar) hem-de konoidal, olaryň (içerki üsti oturtma girýän akymy gysmaklygyň birsydyrgyn egri çyzyk boýunça ýasalan) görnüşlerde bolup bilerler. Dürli oturtmalar arkaly suwuklygyň akyp çykmaklygynyň häsiýetnamalaryna seredeliň.

Daşarky silindriki oturtma (sur. 6.14). Goý, oturtma arkaly akyp çykmaklyk durnukly kada boýunça bolup geçsin, ýagny akym oturtmadan doly kesik arkaly akyp çyksyn. Onda oturtmanyň c-c kesiginde wakuum zolagy dörär hem-de ýokarda getirilen tertipde akyma täsir eder. Gysylan akymyň diametri — d_c; rezerwuaryň diwaryndaky deşigiň we oturtmanyň diametri — *d*.



6.14-nji surat. Daşky silindriki oturtmadan akyp çykmak.

1—1 (rezerwuardaky suwuklygyň erkin üsti) we 2—2 (oturtmanyň 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 napor, $p_1 = p_2 = p_0$ — atmosfera basyşy. Şeýle-de erkin üste akymyň tizligini $V_1 = 0$ hem-de $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ kabul edip bolar. Onda (6.48) deňligi şeýle ýazyp bolar:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_{ný} \qquad (6.49)$$

Naporyň ýerli ýitgileri $h_{ný}$ suwuklygyň rezerwuardan deşige girenindäki ýitgileriniň, akymyň gysylan kesigindäki $V_ç$ tizligine getirlen ululygy.

$$h_{gir} = \zeta \frac{V_ç^2}{2g}$$

hem-de daralmakldan soň birden geňelmeklikde döreýän h_{bg} (sebäbi $\alpha > 60^0$)

$$h_{bg} = \frac{(V_{gys} - V_2)^2}{2g}$$

ýitgilerde jemlenýändir.

Onda gysga turbadaky (oturtmadaky) ýerli sürtülme ýitgiler üçin alýarys:

$$h_ý = h_{gir} + h_{dg} = \zeta \frac{V_ç^2}{2g} + \frac{(V_{gys} - V_2)^2}{2g}$$

Akymyň üznüksizlik (bütewilik) 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, oturtmadan 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

$$\zeta_n = \frac{\zeta}{\varepsilon^2} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 \text{ —} \qquad (6.52)$$

oturtmanyň gidrawliki garşylygynyň koeffisiýenti;

φ_n — onuň tizlik koeffisiýenti:

$$\varphi_n = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta_n}}. \qquad (6.53)$$

Oturtmanyň mukdar koeffisiýentiniň kesgitlenilmesi (6.17 formula) boýunça— $\mu_n = \varepsilon_n \varphi_n$ bolar emma oturtmanyň 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 $\varphi_0 = 1$.

Oturtma 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 gatnaşyklaryna seredeliň:

$$\frac{\mu_n}{\mu_0} = \frac{0{,}845}{0{,}611} = 1{,}38;$$

$$\frac{\varphi_n}{\varphi_0} = \frac{0{,}845}{1} = 0{,}845.$$

Şeýlelik-de, görkezilen şertlerde ($n = 0$ we uly Re sanda) oturtma, akyp çykmaklygyň tizligini 15% diýen ýaly azaldýan hem bolsa, sarp etmekligi 38%-e çenli artdyrar.

Daşarky silindriki oturtmadan akyp çykmaklygyň netijeliligi gidrostatiki naporyň *H* ululygyna we oturtmanyň l uzynlygyna baglydyr. *H* naporyň akymy hereketlendiriji ululygy wakuumyň mümkin bolup biljek goşmaça wakuumetrik naporyna ($h_{wak.}$) baglydyr. *H* bilen $h_{wak.}$ arasyndaky baglanyşygy kesgitläliň.

Başda wakuumyň döremek şertlerini belläliň. Akymyň üznüksizliginiň deňlemesinden (sur. 6.14) we (6.3) aňlatma 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 oturtmanyň çykyş kesigindäki V_2 tizlikden 64% uly bolar. Diýmek, geýdirilýän bölegiň içindäki p_c basyş geýdirilýän bölegiň kesigindäki p_a atmosfera basyşyndan az bolar. Onda

$(p_a - p_c)$ basysşyň tapawudy wakuumetrik basyş — $p_{wak.}$ diýlip atlandyrmak kabul edilendir.

D.Bernulliniň deňlemesini C—C we 2—2 kesikler üçin gorizontal 0—0 tekizlige görä ($\alpha_i = 0$ diýip kabul edip) ýazalyň:

$$\frac{p_c}{\rho g} + \frac{V_c^2}{2g} = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{(V_c - V_2)^2}{2g},$$

bu yerde sag tarapdaky soňky goşulyjy akymyň birden giňelmekliginde döreýän naporyň ýitgisini aňladýar.

Bu deňlemeden tapýarys:

$$\frac{p_a - p_c}{\rho g} = \frac{p_{wak.}}{\rho g} = \frac{2V_cV_2 - 2V_2^2}{2g} = 2\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{V_c}{V_2} - 1\right) = 2\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)$$

$\varepsilon_2 = \dfrac{\pi}{\pi + 2}$ 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

$$\frac{p_{wak.}}{\rho g} = \varphi_n^2 H = \frac{\pi^2}{\pi^2 + 4} H, \qquad (6.56)$$

Aşakdaky belgilemäni girizip

$$h_{wak.} = \frac{p_{wak.}}{\rho g},$$

alýarys

$$h_{wak.} = \frac{\pi^2}{\pi^2 + 4} H \cong 0{,}711H\,. \qquad (6.57)$$

H napor islendik baha eýe bolup biler, ýöne onuň ululygyň çägi bardyr, ondan ýokarda oturtmanyň wakuumetrik napory durnyksyz bolar, ýagny gysylan akymyň we oturtmanyň içerki üstüniň arasyndaky boşlyk daşarky howa bilen birleşer hem-de wakuum ýiter. Bu çäk wakuumyň maksimal mümkin bolan bahasy bilen baglanyşyklydyr, ol $(h_{wak.})_{\max} = 10{,}33$ m suw sütünine deňdir. Uly Re sanlar üçin (6.57) laýyklykda naporyň maksimal çäk bahasyny tapalyň:

$$H_{çäк} = \frac{\pi^2 + 4}{\pi^2} 10{,}33 \cong 13{,}6 \text{ m suw. süt.}$$

Şeýlelik-de, $H_{çäк}$ ululykdan uly naporyň oturtmada wakuum ýiter hem-de ol ýuka diwardaky deşik ýaly işlär. Praktikada $(h_{wak.})_{\max} = 0{,}75H$ kabul edilýär we hakyky bahasy $5{,}5 \div 6$ m suw sütünine deň bolar. Onda, oturtmanyň netijeli işini üpjün edýän amatly işçi naporyň ululygy aşakdaky görnüşde kesgitleniler:

$$H_{çäк} = \frac{5{,}5 \div 6}{0{,}711} = 7{,}7 \div 8{,}4 \text{ m.} \qquad (6.58)$$

Ýokarda ähli aýdylanlar oturtmanyň uzynlygy $l > (2 \div 3)d$ bolanda ýerine ýetirilýändir. *l* ululygyň kiçi bahalarynda hem oturtmada wakuumyň ýitmesi döräp biler.

Emma geýdirilýän bölekleri uzyn etmek hem maksadalaýyk däldir, sebäbi bu ýagdaýda sürtülme ýitgileri artýarlar we akymyň mukdary azalýar. Akymyň mukdar koeffisiýenti bu ýerde bolar

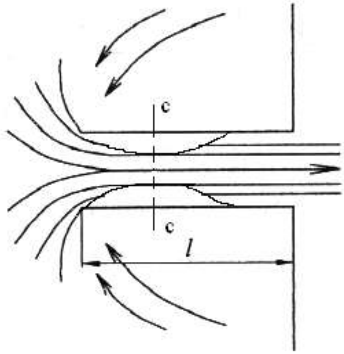
$$\mu_n = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_n+\lambda\frac{l}{d}}} < \mu = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\zeta_n}}. \qquad (6.59)$$

Şonuň üçin oturtmalaryň amatly uzynlygyny $l=(3\div4)d$ bilen çäklendirilýär. Gerekli aýratyn ýagdaýlaryň birnäçesinde oturtmalaryň uzynlygy bu çäkden ýokary bolup biler. Meselem, bentleriň we dambalaryň (gaçylaryň) göwresindäki basyşly turbalar işiniň häsiýeti boýunça oturtmalar, ýöne olaryň uzynlygy mukdary artdyrmak üçin däl-de eýsem bendiň ýa-da dambanyň ölçegleri bilen kesgitleniler. Ýeri geleninde aýtsak, bu ýagdaýda napor hem $H_{çäk}$ ululykdan köplenç ýokarydyr. Şonuň üçin basyşly turbalar köplenç (meselem, çabga, joşgun we ş.m. suwlar geçirilende) ýuka diwardaky deşik ýaly doly däl akymly deşik ýaly işlärler.

Içerki silindriki oturtma (sur. 6.15). Bu hilli oturtmanyň işleýiş şerti daşarkynyňkydan diňe akymyň giriş kesiginde artykmaç gysylmaklygy bilen tapawutlanýar. Bu oturtmada akymyň gysylmaklygy uly derejede bolar,mukdaryň we tizligiň koeffisiýentleri azalar we $\varphi=\mu=0,71.$ deňdirler.

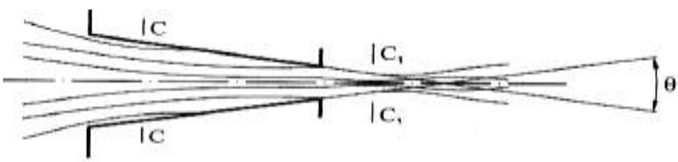
Kiçi uzynlykda $-l<1,5d$ akym oturtmanyň diwarlaryndan aýrylar hem-de ýönekeý deşik ýaly işlär. Bu ýagdaýda suw üçin koeffisiýentleriň bahalary deňdirler: $\varepsilon=0,5;$ $\varphi=0,98$; $\mu<0,49.$

Şonuň üçin, eger-de konstruirleme talaplara görä diňe içerki oturtma başgasy talap ulanylmaly bolsa (nämedir bir zat daşarky oturtma ulanmaklyga päsgel berýär), onda gysylmaklygy peseltmeklik çäreleri görülmelidir. Şeýle-de turbalar rezerwuarlara birikdirilenlerinde bu turbalaryň uçlarynyň rezerwuaryň içerki giňişligine çykmazlyklaryna gözegçilik edilmelidir.



6.15-nji surat. Içerki silindriki oturtma.

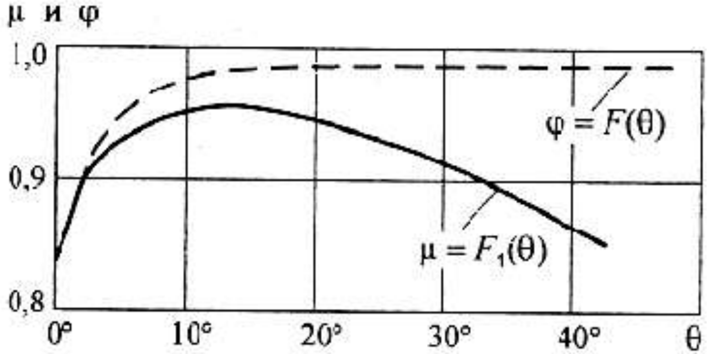
Konfuzorlar (sur. 6.16). Koniki gysylýan oturtmada (konfuzorda) girişdäki kiçi garşylyk sebäpli akymyň içerki gysylyşy, daşarky silindriki oturtma garanyňda azdyr, emma onda çykyşdaky ($C_1 - C_1$ kesik) daşarky gysylma peýda bolar. Oturtmadan akymyň umuman az gysylmaklygy sebäpli konfuzorda napory ýitirmeklik daşarky silindriki oturtma garanyňda azdyr, tizlik uludyr. ζ, φ, μ we ε koeffisiýentler, çykyş kesigine geýdirilende konuslylygyň θ burçunyň ululygyna baglydyrlar, bu 6.17 suratyň grafiklerinde görkezilendir.



6.16-njy surat. Konfuzor oturtmasy

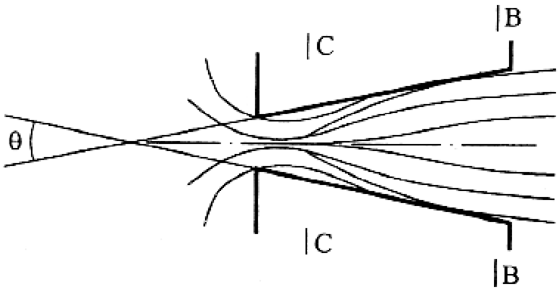
$\mu = f(\theta)$ grafikde mukdaryň başda artýandygy, $\theta = 13^0 24$ bolanda $\mu = 0{,}946$ maksimuma ýetýändigi , soňra kemelýändigi görünýär. Tizligiň koeffisiýenti $\vartheta \cong 20^0$ bolanda $\varphi_{\max}$çenli artýar, soňra hemişelik ululygyny saklaýar ($\varphi_{\max} \cong 0{,}98$). Daşarky silindriki oturtma garanyňda uludyr (hatda $\theta = 13^0 24'$ bolanda hem $\varphi \cong 0{,}963 > \varphi_n = 0{,}845$).

Konfuzorlary akyma uly idel kinetiki energiýany bermek gerek bolanynda ulanýarlar. Bulara mysal bolup ýangyn brandspoýtlaryny, gidromonitorlary, fontanlary, ežektorlary we şuňa meňzeşleri görkezip bolar. Agzalan gurluşlaryň esasy artykmaçlygy olardan akyp çykýan çüwdürimiň bütewiligi hem-de uly aralyklara sepilmegidir.



6.17-nji surat. μ we φ koeffisiýentleriň konuslylygyň θ burçuna baglylyklary

Diffuzorlar (sur. 6.18). Koniki ýygnalmaýan oturtmalarda (diffuzorlarda) akymyň gysylmaklygy we wakuumetrik, daşarky silindriki oturtma 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. Çykyşda daşarky gysylmaklyk ýokdur we şonuň üçin B—B kesimden aňyrda gysylmaklyk koeffisiýenti $\varepsilon = 1$.

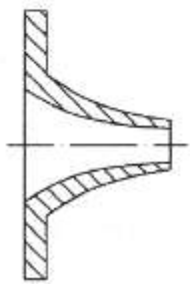


6.18-nji surat. Diffuzor oturtmasy

$\theta = 8^0$ bolanda diffuzor akymynyň koeffisiýentleri $\mu = \varphi = 0{,}45$ bolar; $\theta_{pr} = 12^0$ bolanda $\mu = \varphi \cong 0{,}26.$ deň bolar hem-de akymyň üzülmekligi ýüze çykar. Diffuzor oturtmasynyň girişdäki mukdar koeffisiýenti onuň çykyşdaky getirilen bahalaryndan ep-esli uludyr, şonuň üçin, umuman aýdanyňda, diffuzorlar iň ýokary mukdarly we wakuumly oturtmalardyr.

Şonuň üçin diffuzorlary, akyp çykmaklygyň tizligi kiçi we mukdary uly bolmaly ýerlerde (topragyň ýuwlup äkidilmekliginden gaça durmak maksady bilen ýollaryň düşeginiň aşagyndaky turbalarda; çalgy ýagynyň berilmekliginiň tizligini azaltmak üçin); çykyşda basyşy artdyrmak gerekli bolan ýerlerde (reaktiw gidroturbinalarda, merkeze ymtylýan nasosda we ş.m.), hem-de bolsa oturtmadaky ýokary wakuum zerarly uly sorujy effekt gerekli ýerlerde (inžektorlarda, ežektorlarda we ş.m.) ulanýarlar. Ýeri gelende, ežektorlarda yzygiderli ýerleşen diffuzoryň (sormaklyk) we konfuzoryň (çalt akyp çykmaklyk) ulgamy bolup durýandygyny hem-de praktikada onuň giňden ulanylýandygyny bellemek ýeterlik.

Konoidal oturtma (sur. 6.19). Konoidal oturtmada ýuka diwardaky deşikden çykýan akymyň şekili gaýtalaýar. Onuň çykyş bölegi bolsa silindriki görnüşe eýedir. Bu oturtmada akym diwarlardan aýrylmaýar we girişde boşluk zolagy döremeýär, çykyşda akym gysylmaklygy başdan geçirmeýär: koeffisiýentler $\varepsilon = 1$ we $\varphi = \mu \approx 0{,}97 - 0{,}995$. Şeýlelik-de, konoidal oturtmalar has netijelidirler. Emma profil şekilli gaýtalamaklygyň takyklygyna we onuň üstüniň endigan arassalanmagyna ýokary talaplar edilýänligi üçin olar giň ýaýraýyşa eýe bolmadylar.



6.19-njy surat. Konoidal oturtmasy

6.5. Şepbeşikligiň akyp çykmaga täsiri

Öňki paragraflarda deşikler we oturtmalar üçin akyp çykmaklygyň getirilen koeffisiýentleriniň ululyklary Reýnoldsyň uly ($\mathrm{Re} \geq 100000$) sanlarynda dogrulygy bellenildi. Reýnoldsyň sany aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

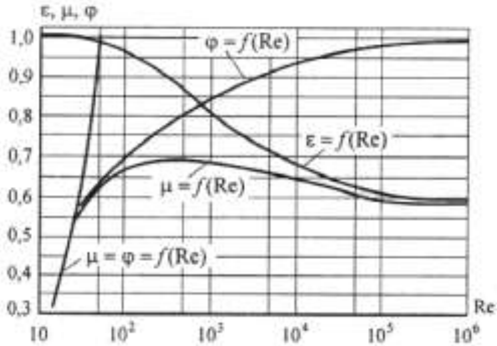
$$\mathrm{Re} = \frac{Vd}{\nu} \cong \frac{\sqrt{2gH}\,d}{\nu}, \qquad (6.61)$$

bu ýerde d — akymyň çykyş kesikdäki diametri;

ν —şepbeşikligiň kinematiki koeffisiýenti.

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 baglanyşyk grafiklerde aýdyň görünýär (sur. 20), olar A.D.Altşul tarapyndan 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 degişlilikde 0,3-den 0,98-e çenli artýar, akymyň mukdarynyň 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. $\varepsilon, \mu, \varphi$ koeffisiýentleriň Re sana baglylygynyň grafikleri.

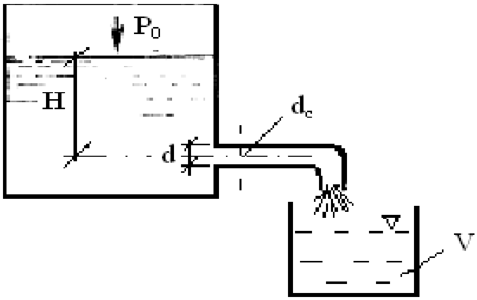
$\mathrm{Re}\geq 10^5$ sanlar üçin A.D.Altşul kiçi deşik üçin mukdar koeffisiýentiň ululygyny hasaplamagyň empiriki formulasyny teklip etdi:

$$\mu = 0{,}592 + \frac{5{,}5}{\sqrt{\mathrm{Re}}}. \qquad (6.62)$$

6.6. 6-njy baba degişli amaly mysallar

1. Hemişelik naporly ýapyk rezerwuaryň dik diwarynyň H=2.0m çuňlugynda ýerleşen diametri d=20mm deşikden akyp çykýan suw çüwdüriminiň gysylan kesiginiň diametri $d_{<}$=15.7mm, göwrümi V=10dm^3 ölçeg gabynyň dolýan wagty t=6.9sek bolupdyr. Rezerwuaryň howaly giňişliginiň basyşy

P_0=10kPa (6.21-nji surat). Ýiti erňekli kiçi deşikden hemişelik naporda akyp çykýan suw çüwdüriminiň gysylma ε, tizlik φ, mukdar μ koeffisiýentlerini hem-de deşigiň garşylyk ζ koeffisiýentiniň ululygyny kesgitlemeli.



6.21-nji surat

<u>Meseläniň çözlüşi:</u>

Çüwdürimiň gysylma koeffisiýenti

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega} = (\frac{d_c}{d})^2 = (\frac{15.7}{20})^2 = 0.616;$$

Çüwdürim akymyň mukdary

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{6.9} = 1.45 \cdot 10^{-3}\ m^3/sek$$

Çüwdürim akymyň hakyky tizligi

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega_c} = \frac{4Q}{\pi d_c^2} = \frac{4 \cdot 1.45 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 1.57^2 \cdot 10^{-4}} = 7.49\ m/sek$$

Çüwdürim akymyň nazary tizligi

$$\vartheta_n = \sqrt{2gH_0} = \sqrt{2g\left(H + \frac{P_0}{\rho g}\right)} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot (2 + \frac{10^4}{10^3 \cdot 9.81})} = 7.7m/sek$$

Deşigiň tizlik koeffisiýenti

$$\varphi = \frac{\vartheta}{\vartheta_n} = \frac{7.49}{7.7} = 0.973$$

Deşigiň mukdar koeffisiýenti

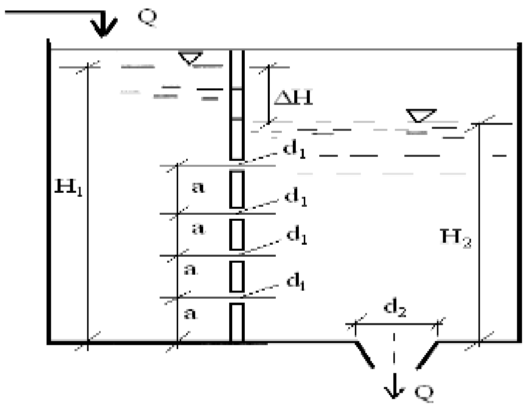
$$\mu = \varphi \cdot \varepsilon = 0.973 \cdot 0.616 = 0.599$$

Ýiti erňekli kiçi deşigiň gidrawliki garşylyk koeffisiýenti 6.16 belgili aňlatmanyň üsti bilen kesgitlenilýär:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\xi}}$$

$$\xi = \frac{1}{\varphi^2} - 1 = \frac{1}{973^2} - 1 = 0.056$$

2. Akymyň mukdary Q=15dm^3/sek suw rezerwuaryň 1-nji bölegine akdyrylýar we onuň 2-nji böleginden daralýan konus şekilli diametri d2=80mm bolan daşky oturtma arkaly akyp çykýar. Rezerwuaryň 1-nji we 2-nji bölekleriniň arasynda galyňlygy t=30m bolan bölüji dik diwarda 6.22-nji suratda görkezilişi ýaly dikligine we keseligine aralyklary a=50mm hem-de diametrleri d_1=10mm deň bolan jemi n=192 sany deşik ýerleşdirilen. Rezerwuaryň böleklerinde suwyň durnukly hereketini üpjün edýän H_1 we H_2 çuňluklary kesgitlemeli.



6.22-nji surat

Meseläniň çözlüşi:

Rezerwuaryň 2-nji bölegindäki H_2 çuňlugy, $Q=15dm^3/sek$ mukdarly suw akymyny üpjün edýän daralýan konus şekilli oturtmanyň (mukdar koeffisiýenti $\mu=0.94$) (6.54) belgili hasaplama formulasyndan tapýarys:

$$Q = \mu\omega_2\sqrt{2gH_2}$$

$$H_2 = \left(\frac{Q}{\mu\omega_2\sqrt{2g}}\right)^2 = \left(\frac{1500}{0.94\cdot\frac{3.14\cdot8^2}{4}\cdot\sqrt{2\cdot980}}\right)^2 = 51sm$$

Rezerwuaryň 1-nji bölegindäki H çuňlugy aşakdaky hökmany şertleri göz öňünde tutyp kesgitleýäris

ýagny:

1. Durnukly hereketiň talabyna laýyklykda deşikleriň umumy hereketlendiriji naporlarynyň ulylygy $\Delta H=H_1-H_2$ deňdir;

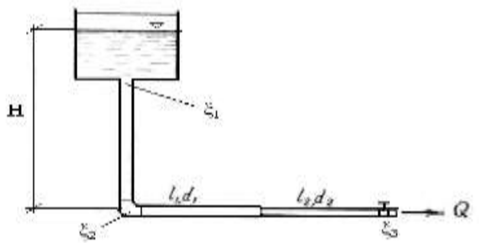
2. dik bölüji diwardaky deň (d=50mm) aralykly deşikler döredilen gidrawliki şerte laýyklykda çümdürilen daşky silindr

şekilli oturtmalar (μ=φ=0.82) görnüşde işleýärler hem-de hasaplanylýarlar. Onda

$$H_1 = H_2 + \Delta H = H_2 + (\frac{Q}{\mu\omega_1 n\sqrt{2g}})^2 = 51 + (\frac{1500}{0.82\cdot\frac{3.14\cdot1^2}{4}\cdot192\cdot\sqrt{2\cdot9.81}})^2 = 58.6sm$$

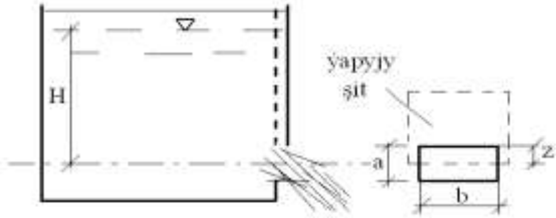
3. Nebitgeçiriji magistral turbanyň kebşirlenen tikininde diametri d=2mm bolan deşik emele gelipdir. Akdyrylýan nebitiň dykyzlygy $\mathcal{P}$=900kg/m^3 we basyşy P=0.8MPa bolanda deşikden bir gije-gündiziň dowamynda akyp çykýan nebitiň mukdaryny kesgitlemeli. Deşigiň mukdar koeffisiýentiniň ululygy μ=0.6 kabul etmeli.

4. Açyk gapdan H=3m hemişelik naporyň täsiri arkaly üýtgeýän kesikli gysga turbalardan (6.23-nji surat) erkin akyp çykýan suw akymynyň Q mukdaryny kesgitlemeli. Turbalaryň ölçegleri l_1=5m, d_1=70mm, l_2=10m, d_2=50mm, gidrawliki sürtülme koeffisiýentleri λ_1=0.02, λ_2=0.025, ýerli garşylyk koeffisiýentleri ξ_1=0.5, ξ_2=0.3, ξ_3=3.



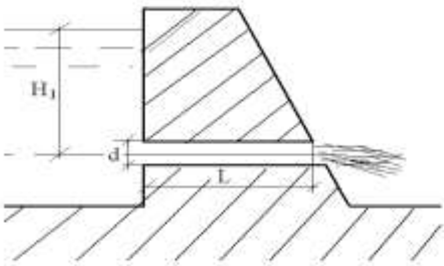
6.23-nji surat

5. Rezerwuaryň gapdal diwaryndaky uly deşikden (6.24-nji surat) erkin akyp çykýan suw akymynyň mukdaryny iki esse kiçeltmek üçin ýapyjy şit deşigiň dik ölçeginiň (a=0.6m) näçe bölegini ýapmaly? Akyp çykmagyň hemişelik napory H=0.7m, ýapyjy şitiň islendik beýikliginde deşigiň mukdar koeffisiýentini uýtgemeýän ululyk hasap etmeli.



6.24-nji surat

6. Suw howdanynyň plotinasynyň göwrüminde ýerleşdirilen suw akdyryjy turbanyň diametri d=0.5m, uzynlygy l=2m. Howdanyň suwunyň başlangyç napory H_1=6.5m, üst meýdany S=0.224km2 (bu meýdan H napora baglylykda üýtgemeýär). Birinji gije-gündizde howdandan näçe suw akyp çykar? Ikinji we üçinji gije-gündizde bu göwrümi almak üçin suwy näçe wagtlap akdyrmaly bolar?



6.25-nji surat

6.7. Eksperimental ugur bilen suwuklugyň deşikden akyp çykmagyny öwrenmek diýen tema boýunça tejribe işi

Işiň maksady. Suwuklyk deşikden akyp çykanda tizlik (φ) we mukdarlyk (μ) koeffisiýentlerini kesgitlemek.

Gyşgaça nazary maglumatlar

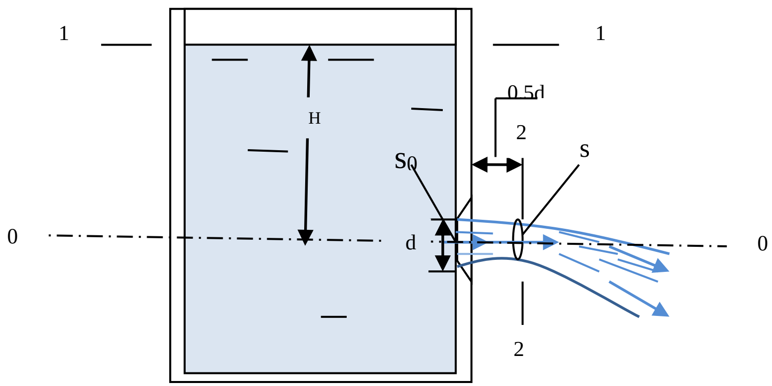
Ýuka diwardaky kiçi deşiginden suwuklugyň akyp çykyşynyň şekili 1–nji suratdakyçyzgyda görkezilen. Suwukluk deşikden akyp çykanda akymynyň girelgede kese-kesiginiň meýdany *s₀*deňbolsa, diwar bilen 0,5*d* aralykda kiçelip *s*ululuga ýetýär. Akyp çykýan suwuk akymynyň kese-kesiginiň meýdanynyň kiçelmegi gysylma ε koeffisiýentiniň üstü bilen häsýetlendirilýär:

$$\varepsilon = \frac{s}{s_0}$$

Bu ýerde:ε– akymyň gysylma koeffisiýenti;

s_0 – akymyň deşigine girýän ýerinde kese-kesiginiň medany;

s – akymyň gysylyp daralýan ýerinde kese-kesiginiň meýdny.



6.26-njy surat. Suwuklugyň akyp çykyşynyň şekili we hasaplaýyş shemasy

Suwuklugyň akyp çykýan tizligini we mukdaryny 1-1 we 2-2 kesimler üçin düzülen Bernulliniň deňlemesinden kesgitläp bolar:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{1\text{-}2} \quad (6.63)$$

Bu ýerde:

z_1 we z_2 – 0-0 tekizlikden 1-1 we 2-2 kesimleriň akym merkezlerine çenli dikaralyk, *m*

P_1 we P_2 -1-1 we 2-2 kesimleriň akym merkezlerinde basyş, P_a

γ - suwuklugyň udel agramy, N/m^3

$\frac{P_1}{\gamma}$ *we* $\frac{P_2}{\gamma}$-1-1 we 2-2 kesimleriň akym merkezlerinde basyş napory, *m*

α_1 we α_2 – kesimlerde Koriolisiň koeffisiýentleri.

$\upsilon_1$we υ_2 -1-1 we 2-2 kesimlerde suwuklugyň akýan tizlikleri.

g – erkin gaçmanyň tizlenmesi, m/s^2

$\frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2\,g}$ we $\frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2\,g}$- 1-1 we 2-2 kesimlerde tizlik napory, *m*

h_{1-2} -1-1 we 2-2 kesimleriň aralygynda basyş naporynyň ýitgileri,*m*

1-nji suratda alnan kesimlere laýyklykda şu belgileri edip bolar:

$$z_1 = H; \qquad z_2 = 0 \tag{6.64}$$

Suwuklukly gap açyk bolandan soň 1-1 kesimine atmosfera basyşy täsir edýär, 2-2 kesimde suwukluk deşikden akyp çykanda ýenede atmasfera akyp çykýar we şol sebäpli:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{at}}{\gamma} \tag{6.65}$$

Naporyň ýerli ýitgileri Weýsbahyň aňlatmasy b/n hasaplap bolar:

$$h_{1-2} = \xi \frac{\upsilon_2^2}{2g}$$

(6.64) we (6.65) belgileri hasaba alyp Bernulliniň (1)-nji deňlemesini şu görnüşe getirip bolar:

$$H + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2\,g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{1-2} \tag{6.66}$$

$$\text{ýa-da :} \quad H + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2\,g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + \xi \frac{\upsilon_2^2}{2g} \tag{6.67}$$

Eger-de doly basyş naporyny bir belgi bilen bellesek :

$$H + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2} = H_o \tag{6.68}$$

Bu ýerde : H_o –doly basyş napory, onda H_o şu görnüşde hem ýazyp bolar:

$$H_o = \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + \xi \frac{\upsilon_2^2}{2g} \qquad (6.69)$$

$$\text{ýa-da: } H_o = \frac{\upsilon_2^2}{2g}(\alpha_2 + \xi) \qquad (6.70)$$

Bu ýerden deşikden akyp çykýan suwuklugyň tizligini υ_2 kesgitläp bolar :

$$\upsilon_2^2 = \frac{2g\,H_0}{(\alpha_2 + \xi)} \qquad (6.71)$$

Eger-de $\frac{1}{\sqrt{\alpha_2 + \xi}} = \varphi$ belgini girizsek

Bu ýerde: φ - tizlik koeffisiýenti.

Deşikden akyp çykýan suwuklugyň tizligini şu görnüşli aňlatma bilen hasaplap bolar:

$$\upsilon_2 = \sqrt{\frac{2\,g\,H_0}{(\alpha_2 + \xi)}} = \varphi\sqrt{2\,g\,H_o} \qquad (6.72)$$

Akyp çykýan suwuklugyň gysylýan ýerindäki tizligi $\upsilon_2$bilsek suwukluk mukdaryny Q hem hasaplap bilers.

$$\begin{cases} s = \varepsilon \cdot s_o \\ \varepsilon \cdot \varphi = \mu \end{cases} \qquad (6.73)$$

$$Q = s \cdot \upsilon_2 = s \cdot \varphi \cdot \sqrt{2\,g\,H_o} =$$
$$= s_o \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot \sqrt{2\,g\,H_o} = s_o \cdot \mu \cdot \sqrt{2\,g\,H_o} \qquad (6.74)$$

Bu ýerde:

Q – deşikden akyp çykýan suwukluk mukdary, m^3/s;

s_o-deşiginiň kese-kesiginiň meýdany, m^2:

$$s_o = \frac{\pi d^2}{4}$$

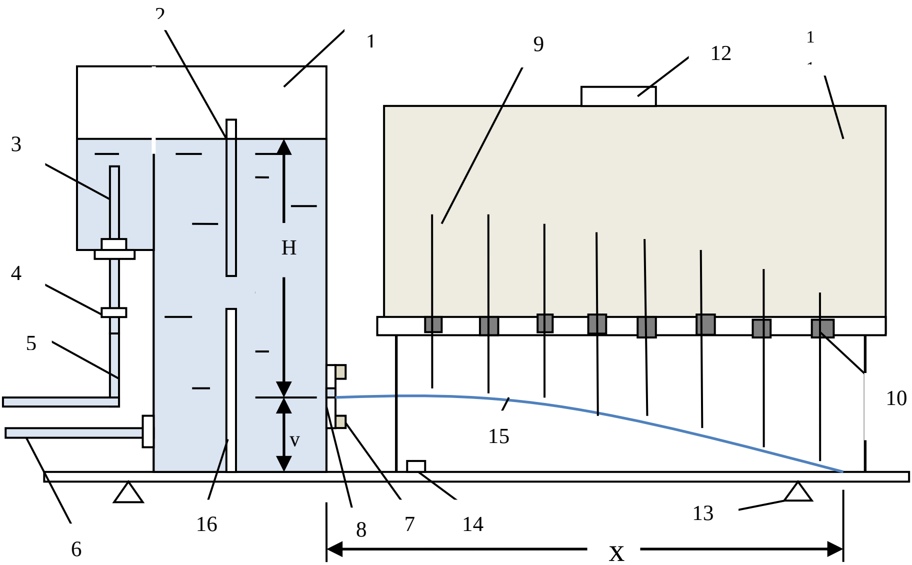
d – deşigiň diametri, m;

μ – mukdarlyk koeffisiýenti

Tejribe geçirilýän enjamyň häsýetnamalary

Tejribe işleri F1–17 belgili guralda geçirilýär. F1–17 tejribe guralynyň çyzgysy we esasy bölekleri hem-de daşgy görnüşi 2-nji 3-nji suratlarda görkezilen.

6.27-nji surat. F1–17 tejribe guralynyň daşgy görnüşi



6.28-nji surat. Suwuklukларyň deşiklerden akyp çykmagyny öwrenmek üçin niýetlenen F1-17 tejribe enjamy: 1-suwukluk gaby;

2- ölçeg lineýkasy; 3- artyk suwy alyp gidýän we bir derejede saklaýan sazlaýjy turbajyk. 4- sazlaýjy mufta ; 5 – maýşak şlang; 6 – suwuk beriji turbajyk; 7- berkidiji gaýka; 8 – tegelek şekilli deşikli disk; 9 –suwukluk akymynyň şekilini kesgitlemek üçin niýetlenen şpilkalary; 10 – berkidiji bolt; 11 – arka diwary; 12 –berkleýji; 13 – sazlanylýan esas diregleri; 14 – tekizligisazlamak üçin niýetlenen urewen; 15 –suwukluk akymynyň traýektorasy; 16 –bölüji diwar.

Suwukluklaryň deşiklerden akyp çykmagyny öwrenmek üçinniýetlenen gural basyş naporyny döredýän suwukluk gabyndan (1), napory ölçemek üçin niýetlenen lineýkadan (2), suwukluk derejesini sazlaýjy turbajykdan (3) we muftadan (4), maýşak şlangadan (5), suw beriji turbajykdan (6), deşikli diskden (8) we ony berkidiji gaýkadan (7), suwuklugyň akymynyň şekilini kesgitlemek üçin niýetlenen (9) we (10) berklenýän şpilkalardan durýar.

Işiň geçiriliş tertibi

1. Basyş naporyny döredýän gaba suwukluk barar ýaly wentili açmaly we suwukluk bir derejede durandan soň ölçegleri geçirmeli.
2. Ölçeg lineýkasyndan basyş naporynyň ölçegini alyp tablisa ýazmaly *(H)*.
3. Deşikden çykýan suwuklugyň geçýän aralygyny *(X)* we *(Y)*oklary boýunça ölçögleri almaly we tablissa ýazmaly.
4. Deşikden akyp çykýan suwuklugyň *V* göwrümi ölçeg gabynydoldurýan wagt dowamyny *t* kesgitlemeli we tablisa geçirmeli.
5. Deşigiň *(d)*diametrini kesgitläp tablisa geçirmeli.
6. Basyş naporyny döredýän gapda suwukluk derejesini ütgedip hemme ölçegleri gaýtadan geçirmeli we tablisa bellemeli.
7. Diskiň deşikleriniň diametrleri:

$d = 3mm = 0{,}3sm = 0{,}003m$

$d = 6mm = 0{,}6sm = 0{,}006m$

1-nji tablisa
Alynan ölçegleriň we hasaplamalar

T/b	Ady	Tejribeler	
		№ 1	№ 2
1	<u>Ölçegler:</u> Basyş naporyH, *m*		
2	Ölçeg gabynyň göwrümi, V, m^3		
3	Ölçeg gabynyň suwukluk bilen dolýan wagt dowamy,t, *s*		
4	Deşikden çykandan soň suwuklugyň kese X oky boýunça geçýän aralygy, *m*		
5	Deşikden çykandan soň suwuklugyň dik Y oky boýunça geçýän aralygy, *m*		
6	Tegelek şekilli deşigiň diametri, d, m		
1	**<u>Hasaplamalar:</u>** Suwukluk mukdary $Q = \frac{V}{t}$, m^3/s		
2	Suwuklugyň nazary mukdary, $Q_T = \omega\sqrt{2gH}$, m^3/s		
3	Mukdarlyk koeffisiýenti, $\mu = \frac{Q}{Q_T} = \frac{Q}{\omega\sqrt{2gH}}$		
4	Suwuň hakyky tizligi. $\upsilon = X\cdot\sqrt{\frac{g}{2Y}}$, m/s		
5	Suwuň nazary tizligi. $\upsilon_T = \sqrt{2gH}$, m/s		
6	Tizlik koeffisiýenti. $\varphi = \frac{\upsilon}{\upsilon_T}$		
7	Akymyň gysylma koeffisiýenti. $\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}$		

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1. Ýuka diwarlardaky deşi
2. Tizlik we mukdarlyk koeffisiýentleriniň kesgitlenilşini dündiriň.
3. Mukdarlyk koeffisiýenti haýsy aňlatmada ulanylýar?
4. klerden suwuklugyň akyp çykýam mukdary nämä bagly?

Edebiýatlar

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.
2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.
3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.
4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Orifice & Free Jet Flow. Instruction Manual F1-17, 2011, 27 p.

VII BAP.

ÝERASTY GIDRAWLIKA

7.1. Süzüjiligiň nazary esaslary we ýerasty suwuň hereketiniň görnüşleri

Süzüjilik diýip suwuň öýjük-öýjük giňişlikdäki hereketine aýdylýar. Süzüjilik akymlary iki görnüşde bolýar: tebigy we emeli.Atmosfera ygallarynyň topragyň öýjükleriniň üstünden süzülip geçmeginiň netijesinde tebygy süzüjilik akymy ýa-da toprak asty suwuň akymy döreýär.Durmuşda adamlar tarapyndan goýlan tehniki meseleler çözülende emeli süzüjilik akymy döreýär. Mysal üçin, gurluşuk kotlowanlaryndan suwy aýyrmakda, suw arassalaýjy desgalaryň suw süzgüçlerinde we toprak bentlerinden suw süzülip geçmeginde döreýän akymlar we ş. m.

Ýer asty suwlar iki görnüşe bölünýär: hereket etmeýänler we hereket edýänler.Ýer asty gatlaklarynyň arasyndaky suw ýataklara suwuň ýygnalynmagy netijesinde **hereket etmeýän ýerasty suwlar** döreýär.Atmosfera ygallarynyň topraga siňip ýer asty gatlaklarynyň suw akymlaryna goşulmagy netijesinde **hereket edýän ýerasty suwlar** ýa-da ýer asty suwlaryň akymlary emele gelýär.

Ýer asty suwlaryň akymlary ikä bölünýär: **naporly** we **naporsyz .**Üstünden suw geçirmeýän iki ýer asty gatlagyň arasyndaky suwlaryň akymlaryna naporly ýer asty suw akymlary diýip aýdylýar. Egerde ýer asty suwlaryň akymlary bir taraplaýyn üstünden suw geçirmeýän gatlaklar bilen çäklenen bolsa oňa naporsyz akym diýilýär.

7.2. Süzüjilik kanuny

fransuz alymy Darsi 1856-njy ýylda süzüjilik kanuny açýar.Ol geçiren tejribe synaglarynyň esasynda çägesöw toprakdan suwuň süzülmeginiň pezometriki eňňitligiň görkezijilerini anyklaýar hem-de nazariýet tarapdan tassyklaýar.Bu netijä Darsiniň süzülme kanuny diýlip atlandyrylýar.Bu kanun

$$\upsilon = k_f \mathrm{I} \tag{7.1}$$

formula boýunça kesgitlenýär, bu ýerde υ-süzüjilik tizligi;k_f- topragyň süzüjilik ukybyny häsýetlendirýär, süzüjilik koeffisiýenti. Ol diňe tejribe synagy esasynda kesgitlenýär;I- topragyň süzüjilik akymynyň gidrawliki gradiýenti (pezometriki eňňitlik).

7.1 formula baglylykda süzüjilik koeffisiýenti birlik eňňitlikde süzüjilik tizligi diýip kabul edilýär.

Süzüjilik akymyň mukdary

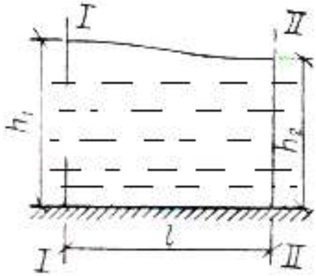
$$Q = k_f \omega \mathrm{I}, \tag{7.2}$$

formula boýunça kesgitlenýär, bu ýerde ω-ýerasty akymyň janly kesiginiň meýdany, hereketiň ugruna perpendikulýar kesigiň emele getirýän meýdany.

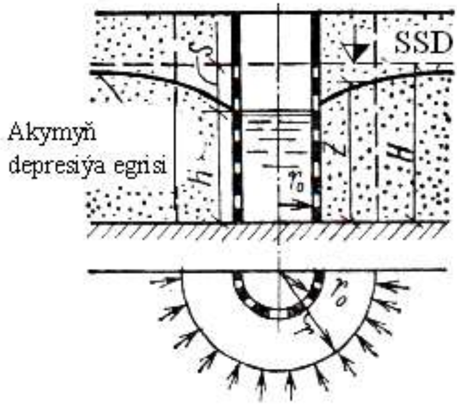
1857-nji ýylda fransuz alymy Dýupýu tarapyndan Darsiniň kanunyna esaslanyp we ol kanuna käbir nazary esaslandyrmalar ulanyp erkin üstli süzüjilik akymyň gorizontal gatlakdaky hereketi üçin depresiýa egrisiniň deňlemesini getirip çykarýar (7.1-nji surat). Ol şeýle kesgitlenýär:

$$\frac{2q}{k_f} = \frac{h_1^2 - h_2^2}{l}, \tag{7.3}$$

bu ýerde q-ýer asty akymyň udel mukdary; h_1 we h_2-ýer asty akymyň kese kesiginiň çuňlugy (I-I, II-II kesikler üçin); *l*-kese kesikleriň gorizontal boýunça aralyklarnyň uzynlygy.



7.1-nji surat. Depresiýa egrisiniň guýulara akmagynyň shemasy



7.2-nji surat. Ýer asty suwlaryň shemasy

7.2 –nji suratda ýerasty suw akymynyň dik guýularda döreýşiniň mysaly şekillendirilendir.

Berlen toprak üçin süzüjilik koeffisiýentiň k_f ululygyny 7.3-nji suratda şekillendirilen süzüji enjamda geçirilen tejribeleriň netijesinde kesgitläp bolýar. Tejribe geçirilende süzüjilik häsiýetnamalary derňemeli toprak bilen silindr şekilli süzüji enjam doldurylýar. Tejribäniň dowamynda pýezometrleriň kömegi bilen süzülýän akymda naporyň ýitgisi $\Delta H=H_1-H_2$ we akymyň mukdary Q ölçenilýär. Derňelýän topragyň süzüjilik koeffisiýenti aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$K_f = \frac{Ql}{\omega(H_1 - H_2)}, \tag{7.4}$$

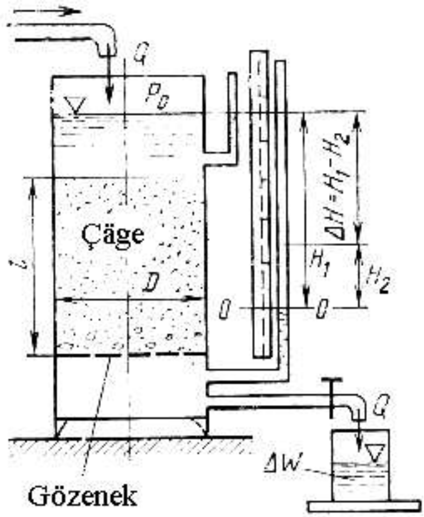
bu ýerde *l*-tejribe geçirilýän süzüji desgada ýerleşdirilen topragyň derňelýän gatlagynyň galyňlygy.

Tebigy we tejribehana şertlerinde derňelýän şol bir topragyň süzüjilik häsiýetnamalary azda-kände tapawutlanýandyr. Şonuň üçin topraklaryň süzüjilik koeffisiýentleriniň has takyk ululyklary meýdan şertlerinde alynýandyrlar.

Süzüjilik koeffisiýentiň ululygyny Hazeniň emperiki formulasy bilen hem kesgitläp bolýar:

$$K_f=0,75d(0,70+0,03t^o)\ , \qquad (7.5)$$

bu ýerde d – süzüji gatlagyň (materiýalyň) däne-däne düzüminiň orta diametri; t^o – süzülýän suwyň temperaturasy.



7.3-nji surat. Süzüjilik koeffisiýenti derňemek üçin tejribe desgasynyň shemasy.

Ýokarda seredilen ýagdaýlarda süzülme akymyň hereket kadasy laminardyr. Gidrotehniki desgalaryň gurluşugynda we ulanyşynda süzüji material toprak bolman, emeli iri dänäli owradylan daş materiallardygy sebäpli süzülme akymlaryň hereket kadasy turbulent bolýandyr. Bu ýagdaýda N.N Pawlowskiý tarapyndan hödürlenen Darsiniň kanunynyň ulanylma çäkleri süzülme prossesiniň kriyiki tizliginiň ululygy bilen kesgitlenilýär.

$$\vartheta_{kr} = \frac{(0.75\varepsilon + 0.25)Re \cdot \nu}{d_0}, \qquad (7.6)$$

bu ýerde Re – Reýnoldsyň sany; ε – topragyň (süzüji materialyň) öýjükliligi;
ν - suwyň şepbeşikliginiň kinematiki koeffisiýenti.

7.3. Dik çuň guýylara ýer asty suwlaryň akmagy

Silindr görnüşli dik gutarnykly kämil guýynyň shemasy 7.2-nji suratda şekillendirilendir.Bu suratda H- suwly zemin gatlagynyň çuňlugy; r_0- guýynyň radiusy; h- guýa ýygnan suwuň çuňlugy; s- suwuň statiki (SSD) we dinamiki derejeleriniň tapawudy, z – suwuň depresiýa egrisiniň dik koordinaty.

Guýydan suw çykarylanda suwuň dinamiki derejesi peseldigiçe ýerasty suwuň statiki derejesi hem pese gaçýar we ýer asty suwlar guýa tarap hereket edip başlaýar. Suwuň statiki derejesiniň düşmegi, guýynyň töwerekleýin suw süzülip gelýän zolagynda simmetriki guýguç şekilli akym emele gelýär. Guýa akyp gelýän suwuň mukdary guýudan çykarylýan suwuň mukdaryna deň bolsa, onda statiki, dinamiki derejeler we olary birleşdirýän depresiýa egrisi üýtgemeýän hemişelik kada gelýärler.Şu halda guýa gelýän ýerasty suwlaryň akymyny durnukly we deňölçegli akym diýip kabul edip bolýar.

7.2-nji suratdan gönüşi ýaly radiusy r ($r>r_0$) bolan şertli silindriki şekilli zolagyň islendik z çuňlugynda akymyň pýezometriki eňňitligi üýtgemeýän ululyk bolar we aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$I = dz/dr.$$

Şeýlelikde dik silindrik guýynyň gapdal üstüne parallel alynan islendik $\omega = 2\pi r \cdot z$ üstden akyp geçýän süzülme akymyň mukdary aşakdaky ýaly ýazylýar:

$$Q = \omega\upsilon = 2\pi r z \kappa_f dz/dr. \qquad (7.7)$$

7.7 differensial deňlemedäki üýtgeýän ululyklary aýyl-saýyl edip alarys:

$$zdz = \frac{Q}{2\pi k_f}\frac{dr}{r}$$

Bu deňligiň iki bölegini integrirläp alarys:

$$z^2 = -\frac{Q}{\pi k_f}\mathrm{I}n\,\mathrm{r}+\mathrm{C}.$$

Indi integralyň C hemişeligini kesgitläliň. Onuň üçin berlen şertleriň esasynda, ýagny $r=r_0$ we $z=h$ (guýy akymynyň daşky çäkleri) ýokarky deňlikde goýup alarys:

$$h^2 = \frac{Q}{\pi k_f}\mathrm{I}nr_0 + C$$

we

$$C = h^2 - \frac{Q}{\pi k_f}\mathrm{I}nr_0.$$

Onda

$$z^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k_f}\mathrm{I}nr - \frac{Q}{\pi k_f}\mathrm{I}nr_0,$$

ýa-da

$$z^2 + h^2 = \frac{Q}{\pi k_f}\mathrm{I}n\frac{r}{r_0} \qquad (7.8)$$

bolar. (7.8) deňlemä guýguç görnüşli depresiýa egrisiniň deňlemesi diýilýär. Bu deňleme artezian we beýleki dik guýulary taslamak, gurmak we ulanmak meselelerini çözmeklikde ulanylýan esasy deňlemedir. Onuň esasy aýratynlygy we artykmaçlygy – guýynyň esasy görkezijileriniň (Q – debit, H – çuňluk, R – täsir radiusy) arabaglanyşygyny takyk kesgitlemekdir. Dogrudan hem soňky deňlemede z=H we r=R bolanda alýarys:

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k_f} \mathrm{In} \frac{R}{r_0}, \tag{7.9}$$

ýa-da onluk logarifme geçip

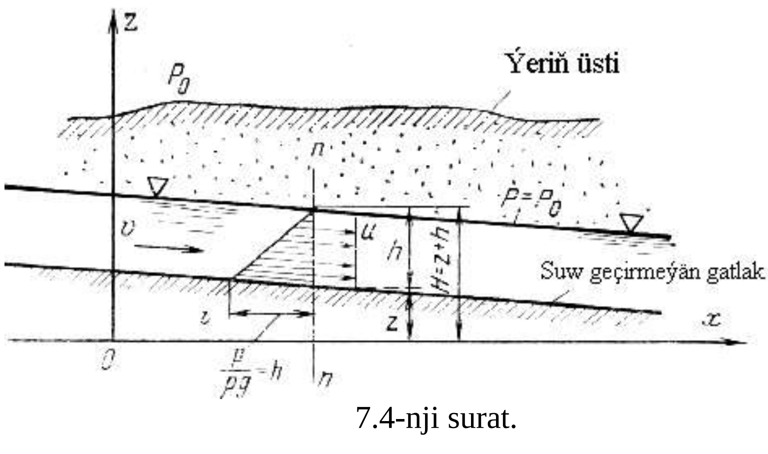
$$Q = 1{,}36 \frac{k_f (H^2 - h^2)}{\mathrm{I}g R / r_0} \tag{7.10}$$

deňlemäni alarys.(7.10) deňlemä gutarnykly kämil guýynyň suw çykaryjylygynyň (debitiniň) deňlemesi diýilýär.

7.4. Ýerasty suw hereketiniň deňlemeleri

Darsiniň formulasyny peýdalanyp (7.2) deňölçegli hereketleriň (7.4-nji surat) meselelerini çözüp bolýar:

$$Q = k_f \omega \mathrm{I}$$



7.4-nji surat.

Köplenç Q derek $q = Q / B$ suwuň udel mukdary girizip, (7.2) deňleme aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$q = k_f h_0 \text{I}. \qquad (7.11)$$

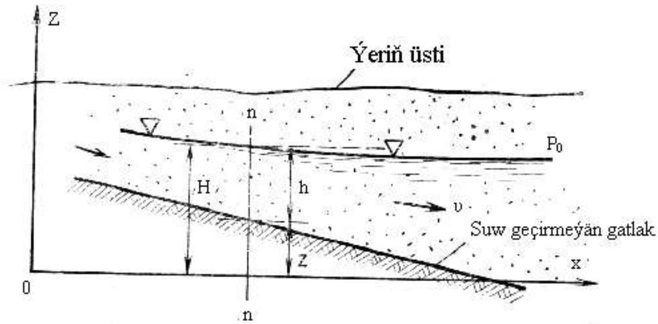
Bu ýerde B we h_0 süzülme akymynyň ini we çuňlygy.

Deňlemä girýän ululyklary hasaba alanyňda dört sany mesele ýüze çykýar, olaryň çözgütleri ýokarda getirilen baglanyşyklar esasynda ýerine ýetirilýär.

Indi deňölçegsiz hereketiň esasy differensial deňlemesine garalyň.

Bernulliniň deňlemesini peýdalanyp 7.5-nji suratdaky $n - n$ kese kesik üçin aşakdaky deňligi ýazalyň:

$$z + h + \frac{\upsilon^2}{2g} = H. \qquad (7.12)$$



7.5-nji surat.

Ýerasty suwuň akymynyň $\upsilon^2 / 2g$ kinetiki energiýasy örän ujypsyz ululykdyr. Haçanda $k = 0{,}05$ sm/sek we $\text{I} = 0{,}5$ bolanda tizlik $\upsilon = k_f \text{I} = 0{,}025 sm / sek$ bolar ýa-da $z + h$-dan $\upsilon^2 / 2g$ million esse kiçidir. Şonuň üçin $\upsilon^2 / 2g$ hasaba alynmanda, $n-n$ kese kesikde doly udel energiýanyň H ätiýaçlygy üýtgemez hem-de şeýle aňladylar:

$$H = z + h.$$

Akymyň hereketiniň we energiýanyň üýtgemesiniň üznüksizligini göz öňünde tutyp, soňky deňlemäni differensial deňleme görnüşinde ýazyp hem-de onuň agzalaryny ds elementar aralyga bölüp alýarys:

$$-\frac{dH}{ds} = -\frac{dz}{ds} - \frac{dh}{ds},$$

$-dH/ds = \mathrm{I}$ ýer asty suwuň akymynyň erkin üstüniň eňňitligi we $-dz/ds$-i akymyň düýbiniň eňňitligi bolýandygy üçin alarys:

$$\mathrm{I} = i - \frac{dh}{ds}.$$

Bu deňlemäni akymyň mukdaryny kesgitlemegiň deňlemesinde ýerine goýup alýarys:

$$Q = k_f h\left(i - \frac{dh}{ds}\right)$$

ýa-da

$$q = k_f h\left(i - \frac{dh}{ds}\right) \quad . \tag{7.13}$$

Bu differensial deňlemä ýer asty suw akymynyň hereketiň birinji esasy deňlemesi diýilýär.

Bu deňlemäni başgaça görnüşde hem ýazyp bolar. (7.11) formuladaky q- iň bahasyny (7.13) formulada goýup aşakdaky deňligi alarys:

$$k_f h_0 i = k_f h\left(i - \frac{dh}{ds}\right),$$

bu deňligiň iki bölegini k_f gysgaldyp alarys:

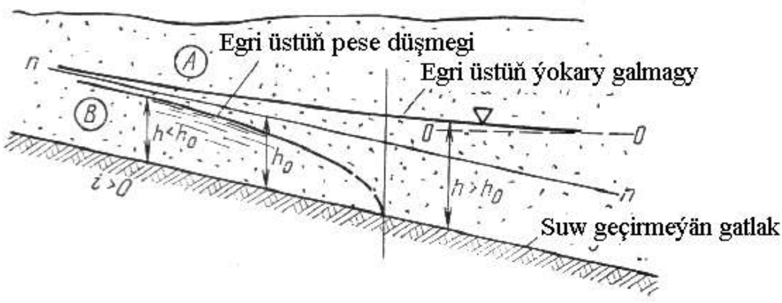
$$\frac{dh}{ds} = i\frac{h - h_0}{h} \quad . \tag{7.14}$$

Bu deňleme ýer asty suw akymynyň hereketiniň ikinji esasy deňlemesi diýilýär. Bu deňlemäniň düzümine süzüjilik koeffisenti girmeýär, diýmek, erkin üstüň görnüşi (başgaça aýdanyňda depresiýa egrisiniň pese gaçmagy) diňe araçäk şertler bilen kesgitlenilýär.

Erkin üstüň görnüşi. Üç hili ýagdaýa seredip geçeliň: $i > 0$; $i = 0$ we $i < 0$.

1. Haçanda $i > 0$ (düýbiniň eňňitligi akymyň hereket ugruna). 7.6-njy suratda kömekçi n-n çyzyk bilen akymyň düýbiniň normal çuňlugy çyzygy görkezilen. Bu çyzyk akym giňişligini A we B zolaklara bölýär. A zolakdaky h çuňluk h ululykly kada çuňlukdan uly ($h > h_0$) bolar, onda (7.14) deňleme boýunça $dh/ds > 0$ bolar we akymyň erkin üsti ýokary galar.

B zolakdaky h çuňluk h_0 kada çulukdan kiçi ($h < h_0$) bolanda, erkin üstüň çyzygynyň pese düşmegini alarys.



7.6-njy surat.

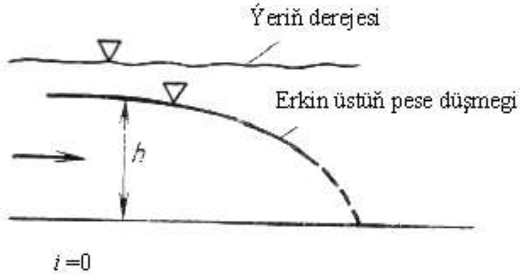
2. Eňňitlik $i=0$. Bu ýagdaýda (7.13) görnüşdäki formuladan peýdalanyp erkin üstüň şekilini kesgitläp bolar.

$$q = k_{\varphi}h\left(i - \frac{dh}{ds}\right).$$

Onda, *i*=0 bolanda alýarys:

$$q = -k_{\varphi}h\frac{dh}{ds} \quad \text{we} \quad \frac{dh}{ds} < 0,$$

Şeýlelikde alynan netijeleriň erkin üstüň egri çyzyk şekiliniň pese düşýändigini hem-de onuň B zolagyň ýokarky çäklendiriji üstüni aňladýandygyny görkezýär.



7.7-nji surat.

3. Haçanda eňňitlik $i<0$. Onda (7.13) belgili deňlemeden

$$\frac{dh}{ds} = i - \frac{q}{k_{\varphi}h} < 0$$

alynar hem-de onuň erkin üstüň pese düşmegini (7.7-nji suratda) aňladýandygy subut ediler.

Esasy differensial deňlemäni integrirlemek. E ň ň i t l i k $i>0$ bolanda. (7.14) formuladan

$$\frac{dh}{ds} = -i\frac{h - h_0}{h}.$$

Alynar ululyklary bölenimizden soň

$$ids = \frac{hdh}{h - h_0} = \frac{h - h_0 + h_0}{h - h_0}dh = dh + h_0\frac{dh}{h - h_0}. \quad (7.15)$$

(7.15) görnüşe geler we integrirlänimizden soň, aşakdaky netijäni alarys:

$$i(s_2 - s_1) = h_2 - h_1 + h_0 \text{In}\frac{h_2 - h_0}{h_1 - h_0}. \quad (7.16)$$

Eňňitlik $i = 0$ bolanda:

$$\frac{dh}{ds} = -\frac{q}{k_\varphi h},$$

Onda

$$ds = -\frac{k_\varphi}{q}hdh,$$

we integrirläp, alýarys:

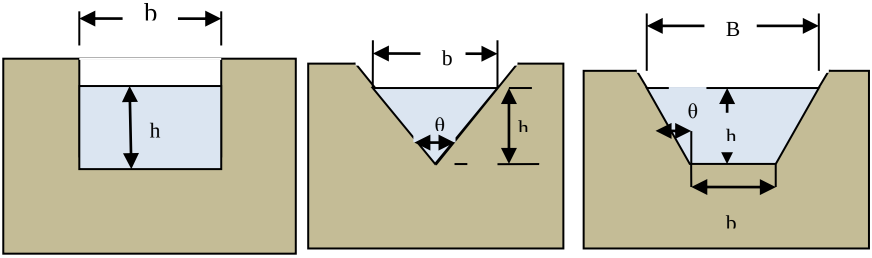
$$s_2 - s_1 = -\frac{k_\varphi}{q}\cdot\frac{h_2^2 - h_1^2}{2}$$

7.5. Dörtburç şekilli ýuka diwarly suwukluk ölçeýji bent gädiginiň mukdarlyk koeffsiýentini tejribe esasynda kesgitlemek boýunça tejribe işi

Işiň maksady: Ýuka diwarly suwukluk ölçeýji bent gädikleriniň mukdarlyk koeffsiýentini μ kesgitlemäni öwrenmek.

Ýuka diwarly suwukluk ölçeýji bent gädikleriniň gysgaça nazarýeti

Ýuka diwarly suwuklyk ölçeýji bent gädikleri derýalarda, üsti açyk kanallarda, nowhanalarda we nowalarda suwuň mukdaryny ölçemek üçin ulanylýar. Ýuka diwarly suwuklyk ölçeýji bent gädikleriniň dürli görnüşleriniň bardygyny belemeli. Olaryň käbir görnüşleri 7.8-nji suratda görkezilen.



a) b) ç

7.8-nji surat. Suwuklyk ölçeýji ýuka diwarly bent gädikleri: a) - dört burç şekilli; b) -üç burç şekill; ç) -trapesiýä şeikilli.

Dört burç şekilli ýuka diwarly bent gädiklerinden geçýän suwuklyk mukdary aňlatma bilen hasaplap bolar (1-nji a) surat):

$$Q = m_o b\sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2} (1)$$

Bu ýerde:

Q – suwuklyk mukdary, m^3/s

b – bosaganyň ini, m

m_o – mukdarlyk koeffisienti

g – erkin gaçmanyň tizlenmesi, m/s^2 ((g=9,81m/s^2)

H_o – doly basyş napory, m.

$$H_o = h + \frac{\alpha_o v_o^2}{2g} (2)$$

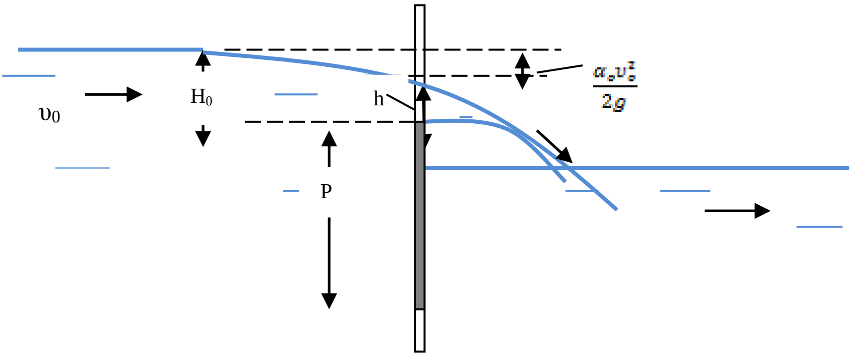
h – bent gädiginiň üstünden akyp geçýän suwuklygyň çuňlugy, basyş naporym;

$\frac{\alpha_o v_o^2}{2g}$ - tizlik napory;

α_o - Koriolisiň koeffisiýenti (laminar akym üçin $\alpha_o = 2$, turbulent akym üçin $\alpha_o = 1{,}1$);

v_o – suwuklygyň akýan tizligi, m/s.

Ýuka diwarly suwuklyk ölçeýji bent gädiginden akyp geçýän suwuklyk akymynyň şekili 7.9-njy suratda görkezilen:



7.9-njy surat. Ýuka diwarly suw ölçeýji bent gädiginden akyp geçýän suwuklyk akymynyň şekili.

Mukdarlyk koeffisiýenti tejribeleriň esasynda kesgitläp bolýar ýa-da tejribeleriň esasynda kesgitlenen emperiki aňlatmalaryň üsti bilen hasaplap bolýar.

Tejribäniň ölçeglerniň esasynda mukdarlyk koeffisiýenti m_0(1)-nji aňlatmanyň üsti bilen kesgitläp bolýar:

$$m_o = \frac{Q}{b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2}} \quad (2)$$

Bu ýerde:

$$Q = \frac{W}{t}, \qquad m^3/s$$

W – belli bir “t” wagtyň dowamynda ölçeýjiden geçen suwuklyk mukdary, m^3

t – wagt dowamy, s

b – ölçeg esasynda kesgitlenen dörtburç şekilli ölçeýjiniň bosagasynyň ini, m

H_o – ölçegler esasynda kesgitlenen doly naporyň ululygy, m

Mukdarlyk koeffisiýentini R.R.Çugaýewiň ýa-da Rehbokyň emperiki aňlatmasy bilen hem hasaplap bolar:

$$m_o = \frac{3}{2} \cdot \left(0{,}402 + 0{,}054 \frac{H_o}{P}\right) = 0{,}603 + 0{,}081 \cdot \frac{H_o}{P} \qquad (5)$$

Üçburç şekilli bent gädigi üçin (7.8-nji b) surat): *“m_o”* (2)-nji aňlatmanyň üsti bilen tejribe esasynda kesgitläp bolar. Üçburçşekilli bent gädiginiň burçy <θ =90^o bolanda geçýän suwuklyk mukdaryny ýönekeý aňlatma bilen kesgitläp bolar:

$$Q = 1{,}4 \cdot H_0^{2{,}5} \qquad (6)$$

Trapesiýa şekilli bent gädigi üçin (1-nji ç) surat): suwukluk mukdary aňlatma bilen hasaplanýar:

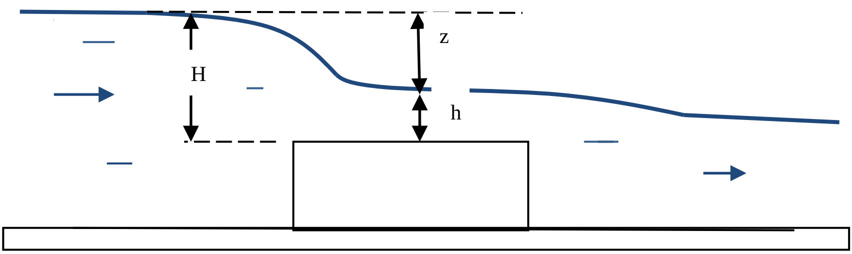
$$Q = m_o(b + 0{,}8h\, tg\theta) \cdot \sqrt{2g} \cdot H_o^{\frac{3}{2}} \qquad (7)$$

Aňlatmada $tg\ \theta$ = ¼bolanda $m_o = 0{,}42$ we suwukluk mukdaryny şu aňlatma bilen hasaplap bolar:

$$Q = 1{,}86 \cdot b \cdot H^{3/2}$$

Giň bosagaly suwukluk ölçeýji bent gädiklri

Giň bosagaly suw ölçeýji bend gädiginden akyp geçýän suwuklugyň şekili 7.10-njy suratda görkezilen.



7.10-njy surat. Giň bosagaly suw ölçeýji bend gädigi

Giň bosagaly suw ölçeýji bend gädiginden akyp geçýän suwuň mukdaryny aňlatma bilen hasaplap bolar:

$$Q = \omega \cdot v = b \cdot h \cdot \varphi\sqrt{2g\ (H_0 - h)}$$

$$H_0 - h = z$$

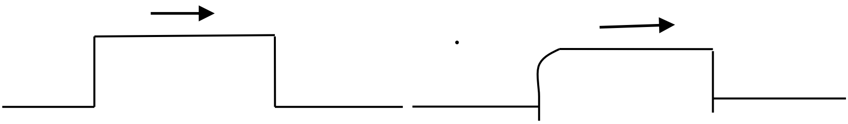
$$Q = b \cdot h \cdot \varphi\sqrt{2g \cdot z}$$

$$Q = m_0 \cdot b\sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2}$$

Bu ýerde: $m_0 = \varphi \cdot k\sqrt{1-k}$ $k = \frac{h}{H_0}$

Giň bosagaly dürli şekilli suw ölçeýji bend gädikleri üçin tizlik we mukdarlyk koeffisiýentleri 7.11-nji suratda berlen.

$\varphi = 0{,}85$; $m_0 = 0{,}32$ $\varphi = 0{,}92$; $m_0 = 0{,}35$



7.11-nji surat. Giň bosagaly dürli şekilli suw ölçeýji bend gädikleri

Tejribe işlerinde ulanylýan nowanyň esasy häsýetnamasy

Gidrawlikanyň gidrodinamiki bölümine degişli açyk nowhanalarda suwukluk hereketiniň häsýetnamasyny öwrenmek we tejribe işlerini geçirmek üçin niýetlenen C4-Mk II gidrawliki oturtma nowasy 5 – nji suratda görkezilen. C4-MkII desganyň nowalary 2,5 m we 5,0 m uzynlyklary bolan işçi bölümlerden düzülip biler.

7.12–nji surat. Gidrodinamikadan açyk nowhanalarda suwukluk hereketiniň häsýetnamalaryny öwrenmek we tejribe işlerini geçirmek üçin niýetlenen C4-M_kII gidrawliki nowa oturtmasy (ustanowkasy)

Oturtmanyň işçi bölümi içi görünýän plastikdan ýasalan we alýumin esasa 8 oturdulan açyk nowadan 1, ýörüteleşdirilen 3 çäklendirijileriň arasynda süşýän karetkadan 2, açyk nowa birikdirilen köşeşdiriji diffuzorly suw gabyndan (4), suw üpjünçilik turbasyndan 9, işçi bölümden çykýan suwuklugy ölçemek üçin niýetlenen çykalgadan 10 we suwuklugy kabul ediji we hereketlendiriji gapdan 11 ybarat. Suwuklugy kabul ediji gapda suwukluk mukdaryny ölçemek üçin niýetlenen öçeýjiler oturdulan. Kanalda akýan suwuň çuňlugy we derejesi kesgitlemek üçin karetka peýdalanýar, kanalyň dübünüň gerek bolan eňňidini almak üçin direg 7, ölçeýji indikator 6 hem-de dolandyryjy mehanizmi 5 oturdylan. Bu mehanizimleriň kömegi bilen kanalyň dübüniň eňňiti 0% - de ýa-da başgada gerek bolan eňňite goýmak mümkinçiligi bar.

Tejribe işlerini geçirmek üçin niýetlenen oturtmada suw aýlawly ulgamda hereket edýär. Kabul ediji gapdan nasos arkaly turba bilen suw köşeşdiriji diffuzorly gabyna soňra nowa berilýär. Suw akyp nowanyň soňunda ýerleşen ýuka diwarly suw ölçeýji bent gädiginden geçip ýenede suw kabul ediji gaba guýulýar.

Tejribe işiniň ýerine ýetirlişiniň tertibi

1. Suwukluk saklanýan we suwy kabul ediji gidrawliki gapda suwuklugyň gerek bolan mukdarynyň bardygyna göz ýetirmeli. Suw mukdary azlyk edende ýa-da boş bolan ýagdaýynda ony doldurmaly.
2. Suwukugy kabul edýän gapda ýerleşen pultdan suwy hereketlendirýän nasosy işe girizmeli.
3. Nowada suwukluk hereketi durnukly bolandan soň ölçegleri geçirmeli.
4. Sekundamer bilen belli bir t wagt dowamynda nowadan akyp geçen suwukluk göwrümüni Wkesgitläp 1 – nji tablisa ýazmaly.
5. Dörtburuç ýuka diwarly suwukluk ölçeýjiniň bosagasynyň belentlik ölçegini $_4$ nowanyň düpleriniň ölçegini $_d$ we suw derejesiniň H_0 ölçegini alyp birinji tablissa ýazmaly.
6. Nowanyň ininiň ölçegini almaly we tablissa ýazmaly.

1 – nji tablisa

Dörtburç şekilli ýuka diwarly suw ölçeýji bent gädiginiň mukdarlyk koeffsiýentini kesgitlemek boýunça ölçegler we hasaplamalar

t/b	Ady	Belgi	Ölçeg birligi	ululygy
	<u>Ölçegler :</u>			
1	Suwuň göwrümi	W	m^3	
2	Wagt dowamy	t	s	
3	Nowanyň dübünüň belentlik ölçegi	$\downarrow_d$	sm	

4	Suwukluk ölçeýjiniň bosagasynda belentlik ölçegi.	$\downarrow_p$	*sm*	
5	Suwuň derejesiniň belentlik ölçegi	$\downarrow_{Ho}$	*sm*	
6	Ölçeýjiniň bosagasynyň ini b	b	*sm*	
	Hasaplamalar:			
1	Suwukluk mukdary $Q = \frac{W}{t}$	$\frac{m^3}{s}$		
2	Doly basyş napory $H_0 = \downarrow_p - \downarrow_{Ho}$	*m*		
3	Bosoganyň beýikligi $P = \downarrow_d - \downarrow_p$	*m*		
4	Tejribe esasynda kesgitlenen mukdarlyk koeffsiýenti $m_0 = \frac{Q}{b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_2^3}$			
5	R.R.Çugaýewiň (5)-nji aňlatmasy bilen kesgitlenen mukdarlyk koeffisiýenti			

Talyplaryň bilimini barlamak üçin soraglar:

1. Ýuka diwarly suwuklyk ölçeýji bent gädikleri nirede ulanylýar?
2. Ýuka diwarly suwuklyk ölçeýji bent gädikleriniň nähili görnüşleri bar?
3. Ýuka diwarly suwuklyk ölçeýji bent gädikleriniň kömegi bilen nähili ölçeg edilýär?

Edebiýatlar

1. Şaripow H.N. Gidrawlika dersi boýunça tejribe sapaklarynyň usuly gollanmasy.TPI, Aşgabat, 2004ý, 43sah.
2. Иванников В.Г. Лабораторный практикум по технической гидромеханике. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 1996, 111с.

3. Астрахан И.М. и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.

4. Discover with armfield. Engineering Teaching & Research Equipment. Orifice & Free Jet Flow. Instruction Manual F1-17, 2011, 27 p.

VIII BAP.

GIDROMETRIÝA

8.1.Suw ölçeýji nowalar we desgalar

Häzirki döwürde açyk suwaryş ulgamlarynda peýdalanylýan suw ölçeýji nowalaryň we desgalaryň 100-e golaý görnüşleri bellidir, olardan has giňden ýaýranlary:

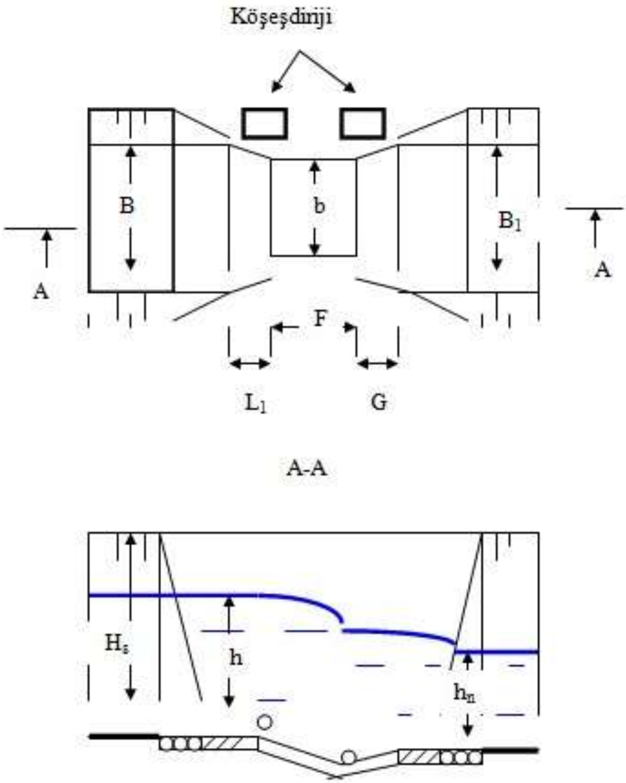
- suw ölçeýji nowalar (giň bosagaly bent gädikleri);
- suw ölçeýji bosagalar (amaly şekilli bent gädikleri);
- suw mukdaryny we derejesini sazlaýjy hem-de ölçeýji desgalar;
- suw mukdarlary bellenen (graduirlenen) desgalar;
- hana suw ölçeýjileri.

Suw ölçeýji gurallaryň, nowalaryň we desgalaryň häsiýetnamasynda berlen maglumatlara baglylykda nowhanalaryň suw mukdary 1-1,5 m^3/s az bolan ýagdaýynda suw mukdaryny ölçemek üçin öň seredip geçilen ýuka diwarly bent gädiklerini ulanmak maslahat berilýär, suw mukdary 1,5-15 m^3/s-da suw ölçeýji nowalar, giň bosagaly we amaly şekilli bent gädikleri, suw mukdary 15-25 m^3/s bolanda suw mukdaryny we derejesini sazlaýjy hem-de ölçeýji şonuň ýalam suw mukdarlary bellenen (graduirlenen) desgalar peýdalanylýandyr. Eger-de suw mukdary 25 m^3/s geçýän bolsa, onda hana suw ölçeýjileri peýdalanmak maslahat berilýär. Suw ölçeýji nowalardan Parsallyň, Wenturiniň, Krampyň, Matubiň we başga-da birnäçe görnüşleriniň bardygyny ýatlap bolar. Bu görnüşli suw ölçeýjileriniň gurluşy we häsiýetnamalary bilen ýöriteleşdirilen edebiýatlardan tanyşyp bolar. Suw ölçeýji nowalaryň hem birnäçe görnüşleriniň, şol sanda Parşalyň, Wenturiniň, Krampyň, MAIYBI-ň we başgalarynyň bardygyny ýatlap geçip bolar. Bu görnüşli suw ölçeýjileriniň gurluşy we häsiýetnamalary bilen ýöriteleşdirilen edebiýatlardan tanyşyp bolar.

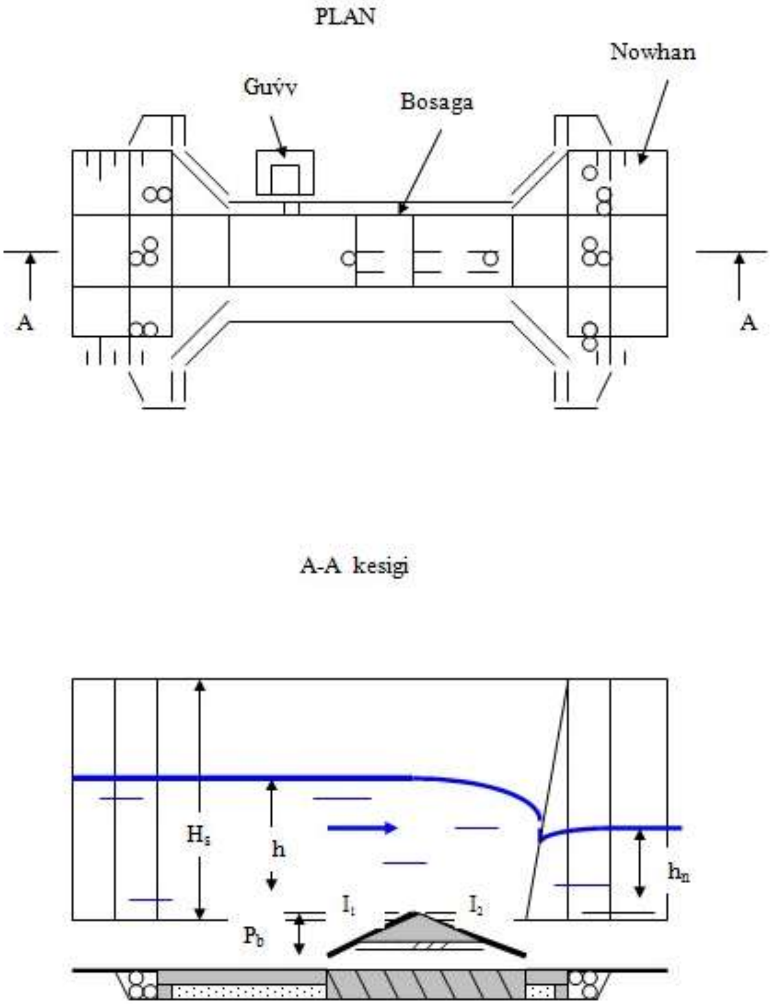
Parşalyň gönburç şekilli suw ölçeýji nowanyň çyzgysy 2.8 -nji suratda görkezilen.

8.2.Parşalyň gôniburç şekilli suw ölçeýji nowanyň häsiýetnamasy

T/b	Ady	Şertli belgisi	Ölçeg birligi	Sany
1	Nowhanada suw mukdary	Q	m^3/s	0,25-10
2	Suwuň tizligi	v	m/s	< 2,0
3	Suwuň çuňlugy	h	m	0,1-1,5
4	Ölçeg edilýän iň uly we iň kiçi suw mukdarlarynyň gatnaşygy	$N=Q_{max}/ Q_{min}$	-	< 10
5	Nowanyň başynda we soňunda suw derejeleriniň gatnaşygy	h_n / h	-	< 0,75
6	Nowanyň esasy ölçegleri:	B	m	1,2b+0,48
		b	m	0,3-2,0
		B_1	m	b+0,3
		L_1	m	0,5b+12
		F	m	0,6
		G	m	0,9
		K	m	0,25
		I_1	-	3 : 8
		I_2	-	1 : 6



8.1-nji surat. Parşalyň gönburç şekilli suw ölçeýji nowasynyň çyzgysy



8.2-nji surat. MAIYBI-ň suw ölçeýji nowasynyň çyzgysy.

8.3.MAIYBI-ň suw ölçeýji nowasynyň häsiýetnamasy

T/b	Şertli belgisi	Ölçeg birligi	Sany
1	b	m	1-10
2	h	m	0,05-1,5
3	P_b	m	$\geq 0{,}5$
4	h/P_b	m	≤ 3
5	b/h	-	≥ 2
6	L_b	m	$\geq 3h$
7	L_1	m	$2\ P_b$
8	L_2	m	$5\ P_b$
9	I_1	-	1 : 2
10	I_2	-	1 : 5
11	Q	m^3/s	0,5 -25
	$N=Q_{max}/\ Q_{min}$	-	< 10
	V	m /s	< 0,5
	h_n/h	-	< 0,75

Bu ýerde: Q - ölçelýän suw mukdary; Q_{max} we Q_{min} - iň uly we iň kiçi suw mukdarlary; V - suwuň tizligi; galan ölçegler çyzgyda görkezilen.

Suw ölçeýji nowadan akyp geçýän suw mukdary suwuň derejelerine baglylykda, jedwellerden, baglanyşyk egri çyzyklaryndan Q = f(h) ýa-da aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$Q = 0{,}36\, b\, (\, 3{,}28\, h\,)^{1{,}6\, b^{0{,}28}} \qquad (\, 8.1\,)$$

bu ýerde:

Q - suw mukdary, m^3/s;

b - nowanyň bokurdagynyň ini, m;

h - köşeşdiriji guýuda suwuň çuňlugy.

Merkezi Aziýanyň irrigasiýa ylmy-barlag institutynyň (MAIYBI) teklip edýän suw ölçeýji nowalarynyň biriniň (Krampyň nowasynyň) çyzgysy 2.9-njy suratda görkezilen. Krampyň üçburç şekilli bosagaly nowasyndan akyp geçýän suw mukdary, suw derejesiniň ölçeglerine baglylykda, jedwelden, baglanyşyk egri çyzygyndan Q = f(h) ýa-da erkin akymdaky ýagdaýda aňlatma bilen hasaplanýar:

$$Q = 1,96\ m\ b\ h^{3/2}, \qquad (8.2)$$

bu ýerde: Q - suw mukdary, m^3/s;

b - nowanyň ini, m;

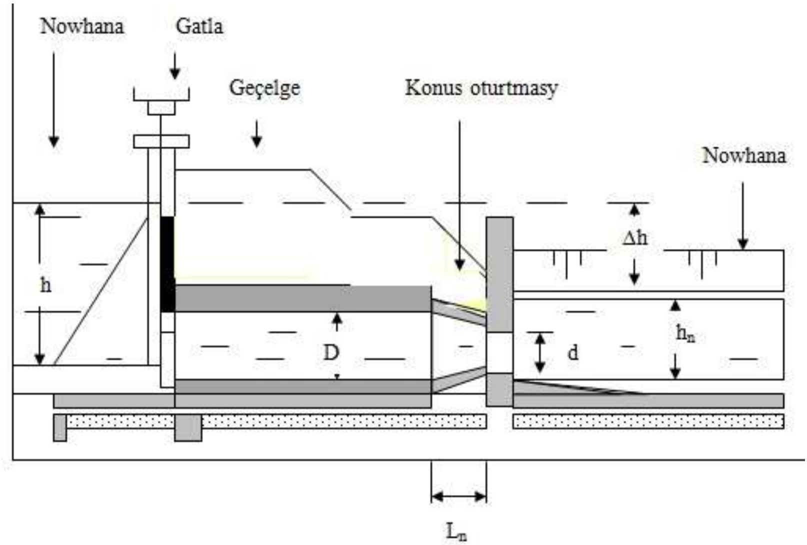
h - nowanyň öň tarapynda bosagadan agýan suwuň napory, m;

m - tejribe esasynda kesgitlenýän mukdarlyk koeffisiýenti.

Bu suw ölçeýji nowanyň takyklygy ± 3…5 %. Suw ölçeýji nowanyň

oňat taraplarynyň biri ol hem nowhanalaryň suw derejelerini galdyrmaýanlygydyr hem-de suwuň akym düzgünini üýtgetmeýänligidir. Suw ölçeýji nowalary diňe suw mukdaryny kesgitlemek maksady bilen gurulanda oňa edilýän çykdaýjylar suwaryş ulgamynyň gurluşyk işleriniň bahasyny ýokarlandyrýar. Çykdaýjylary azaltmak maksady bilen suw ölçeýjileri adaty suw hojalyk desgalary bilen utgaşdyrylyp ýa-da birleşdirilip gurulýar. Mysal hökmünde suw mukdaryny sazlaýjy we ölçeýji turbaly desgalar bolup biler.

MAIYBI-ň teklip edýän turbaly suw mukdaryny sazlaýjy we ölçeýji desgasynyň bir görnüşi 2.10-njy suratda görkezilen.



8.3-nji surat. MAIYBI -ň suw mukdaryny sazlaýjy we ölçeýji desgasy.

8.4.MAIYBI -ň suw mukdaryny sazlaýjy we ölçeýji desgasynyň häsiýetnamasy

T/b	Ady	Şertli belgisi	Ölçeg birligi	Ölçegi
1	Ölçeýän suw mukdary	Q	m^3/s	0,5- 5
2	Suwuň çykýan ýerinde oturtmanyň diametri	d	m	0,74D
3	Konus şekilli oturtmanyň uzynlygy	L_H	m	D
4	Konus şekilli oturtmanyň diametri	D	m	0,3-1,5
5	Desanyň başynda we soňunda suw derejeleriniň gatnaşygy	Δh	m	0,005-0,5
6	Desganyň öňünde suwuň çuňlugy	h	m	>D+0,05

7	Desganyň yz tarapynda suwuň çuňlugy	$h_н$	m	>d+0,05
8	Iň uly we iň kiçi suw mukdarlarynyň gatnaşygy	$N=Q_{max}/Q_{min}$	-	3 - 5

MAIYBI-ň suw mukdaryny sazlaýjy we ölçeýji desgasyndan geçýän suw mukdary desganyň öňünde we yzynda bolan suw derejeleriniň aratapawudynyň ölçegleri esasynda tablisalardan, arabaglanşyk egri çyzyklaryndan ýa-da şu aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$Q = m\, \omega_c \sqrt{2g\ \Delta h}\ , \qquad (8.3)$$

bu ýerde:

Q - suw mukdary, m^3/s;

ω_c - oturtmanyň iň dar ýeriniň kese-kesiginiň meýdany: $\omega_c = \pi d^2 / 4$;

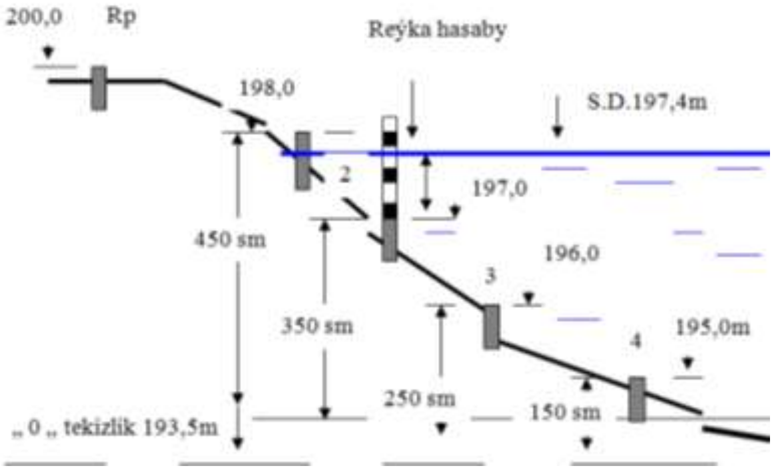
m - mukdarlyk koeffisiýenti, $m = 0,9…0,95$;

g - erkin gaçmanyň tizlenmesi, $g = 9,81\ m/s^2$;

Δh - suw derejeleriniň aratapawudy, m .

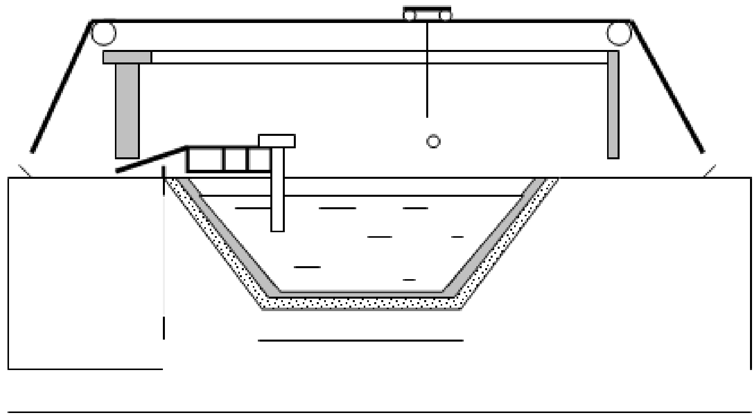
Suw mukdaryny sazlaýjy we ölçeýji desganyň suw mukdarynyň ölçeg ýalňyşlyklary ± 3…5% ýetýär. Desgalarda köp görnüşli suw mukdaryny ölçeýji oturtmalary, şol sanda elektromagnitli, parsional, ultrasesli ölçeýjileri peýdalanýar [9].

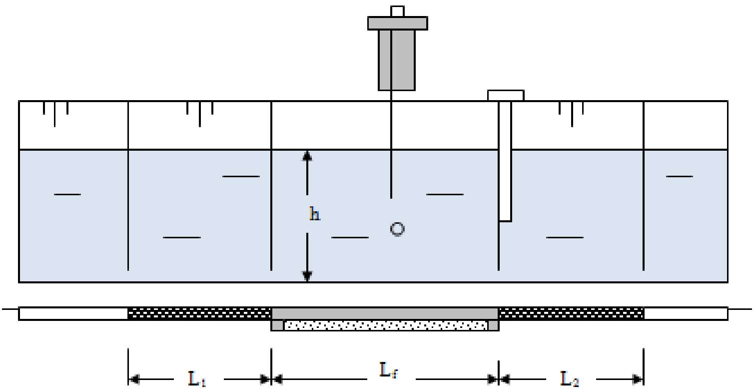
Desgalarda suw ölçeýji oturtmalary bolmanda gatlanyň öňünde we yzynda suw derejeleriniň aratapawudyny ölçemek esasynda tablisalardan, graduirlenen egri çyzyklaryndan suw mukdarlary kesgitlenip bilner. Suw mukdaryny aňlatma bilen hem hasaplap bolar (2.11-nji surat):



8.4-nji surat. Hana suw ölçeýjileriniň gözegçilik nokadynda belentlik derejesini görkezýän reperiň we hanadaky gazyk bellikleriniň ýerleşişi hem-de suw derejeleriniň ölçenilişiniň mysaly çyzgysy: ▼ Rp - reperiň belentlik derejesi; ▼- gazyklaryň belentlik derejesi; ▼ S.D. suw ýüzüniň belentlik derejesi; $▼_0$ – gözegçilik nokadynyň «0» tekizliginiň belentlik derejesi.

MAIYBI-ň teklip edýän berkidilen zolakly suw ölçeýjisiniň gidrometriki gözegçilik nokadynyň gurnalyşynyň çyzgysy we häsiýetnamasy 2-13-nji suratda görkezilen.





8.5-nji surat. Berkidilen zolakly MAIYBI -ň hana suw ölçeýji nokadynyň gurluşy

8.5. Berkidilen zolakly MAIYBI-ň hana suw ölçeýjisiniň häsiýetnamasy

T/b	Ady	Şertli belgisi	Ölçeg birligi	Sany
1.	Suw mukdary	Q	m^3/s	25-250
2.	Suwuň çuňlugy	h	m	0,5-5
3.	Düýbüniň ini	b_k	m	10-100

4.	Suw akymynyň tizligi	V	m/s	0,2-2,5
5.	Iň uly we iň kiçi suw mukdarlarynyň gatnaşygy	$N=Q_{max}/Q_{min}$	-	< 25
6.	Beton berkitmesiniň uzynlygy	L_f	m	1-5
7.	Daş berkitmesiniň uzynlygy	L_1	m	(1-10) b_k
8.	Daş berkitmesiniň uzynlygy	L_2	m	(1-5) b_k

B.Saparowyň, M.Garagulowyň, G.Kurtowezowyň maglumatlaryna görä 1980-nji ýylda Garagum derýasynyň 690-njy we 710-njy kilometrlerindäki hana suw ölçeýji gidrometriki gözegçilik nokadynda suw mukdarlarynyň we suw derejeleriniň arabaglanyşygy 2-4-nji tablisada berlen.

Suw mukdarlaryny ölçegler esasynda kesgitlemegiň analitiki usuly. Suw mukdarlaryny kesgitlemek üçin nowhananyň belli bir uzynlygynyň başynda we ahyrynda hemişelik ýa-da wagtlaýyn gözegçilik nokatlary saýlanyp alynýar. Suw ýitgilerini kesgitlemek üçin saýlanyp alnan nowhananyň bölegi şu bellenen talaplara laýyk gelmelidir:

-nowhananyň düýbi we ýapgytlary durnukly bolmaly;

-suw derejeleri we mukdary üýtgemän durnukly bolmaly;

-suw ölçegleri geçirilýän nokadyň ýerleşýän ýerinde nowhananyň hanasy göni bolmaly;

-nowhananyň suw ölçegleriniň geçirilýän gözegçilik nokady gidrometriki köpri, suw derejelerini ölçeýji enjam we belentlik nokady
(reper) bilen üpjün edilmelidir;

-suw mukdarynyň ölçeg işleri geçirilende nowhanadaky suw akymynyň düzgüni (suw derejesi we mukdary) üýtgedilmeli däldir;

-suw ýitgileriniň ölçeg işleriniň geçirilýän pursatlary nowhananyň bellenen böleginde suw paýlaýjy we taşlaýjy desgalar bar bolanda olar beklenmelidir;

-ýapylan gatlalardan syzylyp geçýän suw mukdary ölçenip hökmany ýagdaýda hasaba alynmalydyr.

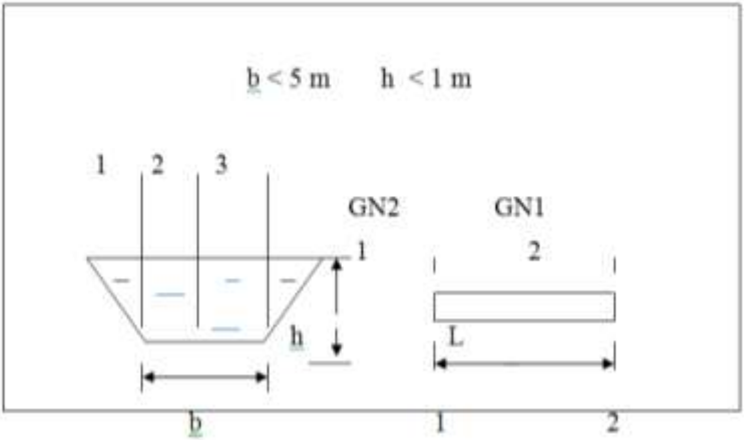
Nowhananyň inine garamazdan, suw mukdarynyň ölçegleri geçirilýän ýerinde onuň kese-kesiginde suw çuňluklary 20-den gowrak bolan dikliklerde kesgitlenmelidir (nowhananyň ini 5 m-den kiçi bolanda 10-15 diklik, 5m-den ly bolanda 15-20 sany diklik almak bolar).

Suwuň akýan tizligi pyrlawaçlar bilen tizlik dikliklerinde kesgitlenýär. Tizlik diklikleri nowhananyň inine we çuňlugyna baglylykda bellenilýär. Adaty nowhananyň ini 5 m-den kiçi bolanda 3-4 tizlik diklikleri, 6-dan 20 m-e çenli bolanda 5-9 tizlik diklikleri, nowhananyň ini 20 m-den uly bolanda tizlik diklikleriniň sany 7-10-a ýetýär [13,26,58].

Takmynan gözegçilik nokadyndaky kesimde şu tizlik dikliklerini kabul edip bolar [26]:

- nowhananyň ini 5 m-den we çuňlugy 1 m-den kiçi bolanda 3 sany tizlik dikligi;
- nowhananyň ini 5 m-den kiçi we çuňlugy 1 m-den uly bolanda 5 sany tizlik diklikleri;
- nowhananyň ini 5 m-den uly we çuňlugy 1 m-den kiçi bolanda 5 sany tizlik diklikleri;
- nowhananyň ini 5 m-den uly we çuňlugy 1m-den uly bolanda 7 sany tizlik diklikleri;
- nowhananyň ini 10 m-den 20 m aralykda bolanda 9 sany tizlik diklikleri we 20 m-den uly bolanda 10 sany tizlik diklikleri kabul edilýär.

Tizlik diklikleriniň nowhananyň ini boýunça ýerleşdirilişi 2.1-nji suratda görkezilen. Ýapgytda ýerleşen gyraky tizlik dikligi ýapgydyň düýbünde ýerleşen diklik bilen we suwuň ýüzüniň kesişýän ýerine çenli bolan aralygyň ortasynda ýerleşýär. Ortaky tizlik dikligi nowhananyň düýbüniň merkezi okunda ýerleşdirilýär. Tizlik diklikleri gidrometriki köprüjigiň ýokary tarapynda ýa-da gözegçilik nokadyndan geçirilen trosda (demir tanapynda) berk we gowy saýgarylýan bellikler bilen bellenilýär. Ähli tizlik diklikleri şol bir wagtda çuňluk diklikleri hem bolup hyzmat edýär we çuňluk dikliklerininiň umumy sanyna girizilýändir.

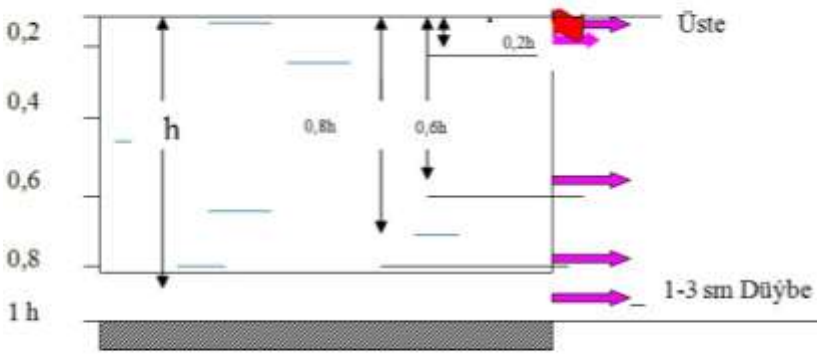


8.6-njy surat. Suw ýitgileri kesgitlenýän nowhananyň bölegindäki gözegçilik nokatlarynda suw mukdaryny kesgitlemek üçin tizlik dikliklerininiň ýerleşdirilişi: 1-3-bellenilýän tizlik diklikleri; h-suwuň çuňlugy; b-nowhananyň düýbüniň ini; L-nowhanada suw ýitgileri kesgitlenilýän aralyk; GN1 -birinji I-I kesimdäki gözegçilik nokady; GN 2 -ikinji II- II kesimdäki gözegçilik nokady.

Bellenilen her diklikdäki suw akymynyň ortaça tizligi aýra nokatlarda geçirilýän ölçeg tizlikleriň esasynda hasaplanyp çykarylýar. Gidrometriýada her tizlik dikliginde suwuň çuňlugyna baglylykda 5, 3, 2 we 1 nokatlarda gidrometriki pyrlawaçlaryň kömegi bilen tizlik ölçegleri alynýar. Tizlik dikliginde ölçeg edilýän nokatlar 8.2-nji suratda görkezilen.

Tejribede köp halatlarda tizlik dikliklerinde ölçegler 3 nokatlarda geçirilýär. Suwuň çuňlugy pes, ýeterlik bolmanda ölçegler 2 ýa-da 1 nokatda geçirilýär. Suwuň çuňlugy 40 sm-den az bolanda 1 nokatda geçirilýändir.

Tizlik dikligindäki suw akymynyň ortaça tizligi 3 nokatda ölçeg geçirilende (0,2h; 0,6h; 0,8h) şu aňlatma bilen hasaplanýar:



8.7-nji surat. Tizlik dikliginde pyrlawaç bilen suw akymynyň tizliklerini ölçeg edilýän nokatlaryň ýerleşişi (köp nokatly jikme-jik usuly).

$$\upsilon_{or} = (\upsilon_{0,2} + 2\,\upsilon_{0,6} + \upsilon_{0,8}) / 4; \qquad (8.1.)$$

ölcegler 2 nokatda geçirilende (0,2h; 0,8h)

$$\upsilon_{or} = (\upsilon_{0,2} + \upsilon_{0,8}) /2; \qquad (8.2.)$$

şeýle-de 1 nokatda geçirilende $\upsilon_{or} = \upsilon_{0,6}$, m/s. (8.3.)

Suwuň tizligi 5 nokatda ölçeg edilende diklikdäki ortaça tizlik aňlatma bilen hasaplanýar:

$$\upsilon_{or} = 0,1(\upsilon_{üst} + 3\,\upsilon_{0,2} + 3\upsilon_{0,6} + 2\upsilon_{0,8} + \upsilon_{düý}) \qquad (8.4.)$$

bu ýerde:

υ_{or} - diklikdäki ortaca tizlik, m/s

$\upsilon_{üst}$, $\upsilon_{0,2}$, $\upsilon_{0,6}$, $\upsilon_{0,8}$ we $\upsilon_{düý}$ - tizlik dikliginiň üste ýakyn, 0,2h, 0,6h, 0,8h we düýbe ýakyn çuňluklaryndaky nokatlarda pyrlawaç bilen ölçeg edilen suw akymynyň tizlikleri, m/s.

Belli bir nokatda suwuň akýan tizligi gidrometriki pyrlawajyň aýlaw tizligine görä peýdalanylýan pyrlawajyň hususy şahadatnamasyndaky egri çyzygyndan $\upsilon = f\ (h)$ alynýar. Pyrlawajyň aýlaw tizligi bolsa aňlatma bilen hasaplanýar:

$$n = N / T, \qquad (8.5.)$$

bu ýerde:

n - ölceg edilýän nokatda pyrlawajyň aýlaw tizligi (bir sekuntdaky aýlaw sany);

N - şol nokatda pyrlawajyň aýlawlarynyň sany (sanawjynyň görkezijisi);

T - ölçegiň dowamlylygy (sekundomeriň görkezijisi).

Nokatda geçirilýän ölçegiň dowamlylygy 100 sekuntdan az bolmaly däldir.

Nowhananyň gözegçilik nokatlarynda ölçegler esasynda kesgitlenen dikliklerdäki suwuň çuňluklary we ortaça tizlikleri boýunça analitiki usulda suw mukdary aňlatma bilen kesgitlenilýär [16, 26]:

$$Q = K\upsilon_1\ \omega_0 + \omega_1\ (\ \upsilon_1 + \upsilon_2\ )\ /\ 2\ +\ \ldots + \omega_{n-1}(\upsilon_{n-1} + \upsilon_n)\ /\ 2 +$$
$$+ K\omega_n\ \upsilon_n\ , \quad (2\text{-}8)$$

bu ýerde:

Q - ölceg edilýän gözegçilik nokadynda nowhananyň suw mukdary, m^3/s;

$\upsilon_1\ ,\upsilon_2\ \ldots\upsilon_n$ - tizlik dikliklerindäki suw akymlarynyň ortaça tizligi, m/s;

ω_{0b} - kenar bilen 1-nji tizlik dikliginiň arasyndaky suw akymynyň kese-kesiginiň meýdany, m^2;

ω_{1b} - 1-nji we 2-nji tizlik dikliginiň arasyndaky suw akymynyň kese-kesiginiň meýdany, m^2;

ω_{nb} - soňky tizlik dikliginiň hem-de kenar bilen aralykdaky suw akymynyň kese-kesiginiň meýdany, m^2;

K - tejribe esasynda kesgitlenýän köpeldiji:

- ýalpak kenarly nowhanada, kenardaky suwuň çuňlugy 0-a deň bolanda K = 0,7;
- kert kenarly nätekiz gyralary bolan nowhanada K = 0,8;
- kert kenarly tekiz gyralary bolan nowhanada K = 0,9;
- kenarlarynda suwuň ýygnanyp akmaýan ýerli bölekleri bolanda K= 0,5.

Tizlik diklikleriniň arasyndaky suw akymynyň kese-kesikleriniň meýdanlary şu bellenen aňlatmalar bilen hasaplanyp çykarylýar (2.3-nji surat):

- kenar bilen 1-nji tizlik dikliginiň arasynda:

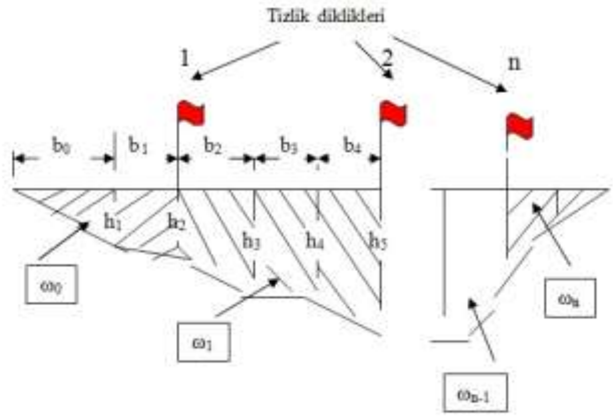
$$\omega_0 = h_1 b_0 /2 + (h_1 + h_2) b_1 /2; \qquad (8.6.)$$

- 1- nji we 2-nji diklik tizlikleriniň arasynda:

$$\omega_1 = (h_2 + h_3) b_2 / 2 + (h_3 + h_4) b_3/2 + (h_4 + h_5) b_4/ 2$$

we ş.m (2-10)

bu ýerde: b_0, b_1, b_2, b_3 - nowhananyň ini boýunça kenardan başlap, 1-nji, 2-nji, 3-nji, 4-nji, 5-nji çuňluk diklikleriniň aralyklary, m;



2.3-nji surat. Nowhananyň gözegçilik nokadynda çuňluk diklikleriniň ölçegleri boýunça tizlik diklikleriniň aralygyndaky suw akymynyň kese-kesikleriniň meýdanlarynyň hasaplanyş çyzgysy: -suw akymynyň tizligini ölçemek üçin niýetlenen diklikler.

h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 - 1-5-nji çuňluk dikliklerinde ölçeg esasynda kesgitlenen suwuň çuňluklary, m.

Nowhananyň bellenen GN 1 gözegçilik nokadynda analitiki usulda suw mukdaryny kesgitlemegiň mysaly hasaplamalary 2-1 we 2-2 tablisalarda berilýär. Ikinji GN 2 gözegçilik nokadynda nowhananyň suw mukdary ýokarda görkezilen tertipde ýerine ýetirilýär.

8.1. tablisa. Nowhananyň bellenen gözegçilik nokadynyň kese-kesiginde ýerleşýän tizlik dikliklerinde gidrometriki pyrlawajyň kömegi bilen nokatda ölçeg geçirip ortaça tizligi kesgitlemegiň mysaly hasaplamalary

Tizlik dikliginiň tertip belgisi	Tizlik dikliginde suwuň çuňlugy, h, m	Gidromtriki pyrlawaç bilen ölçeg geçirilýän çuňluk		Ştangadaky çuňluk (düýbünden alnanda), m	Jaň sany (signal)	Aýlaw sany, N, aý	Ölçegiň dowamlylygy, T, sek	1 sekuntdaky aýlaw sany, n aý/sek	Pyrlawajyň hususy egri çyzygyndan kesgitlenýän suw akymynyň tizligi,	Tizlik dikliginde hasaplanan ortaça tizlik, m/s, υ_c
		çuňluk nokatlary	Çuňluk (suwuň ýüzünden alnanda), m							
1.	1,69	0,2h 0,8h	0,34 1,35	1,35 0,34	12 8	240 160	126 114	1,9 1,4	0,48 0,32	0,38
2.	1,86	0,2h 0,8h	0,37 1,49	1,49 0,37	20 16	420 320	111 115	3,60 2,78	0,81 0,63	0,72
3.	1,66	0,2h 0,8h	0,33 1,33	1,33 0,33	20 16	400 320	102 120	3,92 2,67	0,88 0,60	0,74
4.	1,73	0,2h 0,8h	0,35 1,38	1,38 0,35	24 16	480 320	115 100	4,17 3,20	0,94 0,72	0,83
5.	2,00	0,2h 0,8h	0,40 1,60	1,60 0,40	20 16	400 320	98 115	4,08 2,78	0,92 0,63	0,78
6.	1,70	0,2h 0,8h	0,34 1,36	1,36 0,34	20 12	400 240	104 109	3,85 2,20	0,86 0,50	0,68
7.	0,95	0,2h 0,8h	0,19 0,76	0,76 0,19	8 12	160 240	95 135	1,68 1,78	0,38 0,41	0,40

8.2. tablisa

Nowhananyň bellenen GN1 gözegçilik nokadynyň kese-kesiginden akyp geçýän suw mukdarynyň analitiki usuly bilen kesgitlemegiň mysaly hasaplamalary

Nowhanada suwuuň ç uňlugyny ölçemek					Çuňluk dikliklerin aralygy, b_i, m	Suw akymynyň kese-kesiginiň dik-likler aralygyndaky meýdany, m^2		Ortaça tizlik, m/s		Tizlik dikliikleriniň aralygyndan akyp geçýän suw mukdary, m^3/s
Çuňluk diklikl eriniň t/b	Tizlik diklikl eriniň t/b	Hemişelik başlan-gyçdan bolan aralyk, m	Çuňluk, m			Çuňluk dikliikleriniň aralygynda	Tizlik dikliikleriniň aralygynda, ω_i	Tizlik dikliiklerinde hasapla-nan ortaça tizlik, υ_i	Tizlik diklikle-riniň aralygynda	
			Diklikde h_i, m	Diklikleriň aralygynda $(h_i + h_{i+1})/2$, m						
Sag kenary	6,00	0,20								
				0,28	1,50	0,42				
1.	1	7,50	0,55				1,80	0,38	0,27	0,49
				0,92	1,50	1,38				
2.		9,00	1,30							
				1,48	1,50	2,22				
3.	2	10,50	1,67				4,86	0,72	0,55	2,67
				1,76	1,50	2,64				
4.		12,00	1,84							

				1,79	1,50	2,68				
5.	3	13,50	1,74				5,22	0,74	0,73	3,81
				1,69	1,50	2,54				
6		15,00	1,64							
				1,64	1,50	2,46				
7	4	16,50	1,65				4,98	0,83	0,78	3,88
				1,68	1,50	2,52				
8		18,00	1,71							
				1,82	1,50	2,73				
9	5	19,50	1,92				5,65	0,78	0,80	4,52
				1,95	1,50	2,92				
10		21,00	1,98							
				1,98	1,50	2,97				
11	6	22,50	1,98				5,94	0,68	0,73	4,33
				1,98	1,50	2,97				
12		24,00	1,98							
				1,46	1,50	2,19				
13	7	25,50	0,93				2,19	0,40	0,54	1,18
				0,46	1,30	0,60				
Çep kenary		26,80	0,00				0,60		0,28	0,17

F_1=31,2 Q_1=21,05

Meýdan şertlerinde nowhanada analitiki, tizlik - meýdan usuly bilen suw mukdary kesgitlenende ýalňyşlyklaryň takmynan ululygy adaty ± 5÷7 % bolup, käbir ýagdaýda ±10÷12 % ýetýär [16,60]. Bu usuly bilen suw mukdary jikme-jik ölçegleri esasynda kesgitlenende ýalňyşlyklar 2 esse azalýar we ortaça ±1÷2 % bolup, ýalňyşlyk çäkleri ±2,5 ÷5 %-e ýetýär.

Suw mukdarynyň ölçegleri geçirilende onuň takyklygyna birnäçe tötänden we hemişe bolup durýan ýalňyşlyklar täsir edýär. Tötänden bolýan ýalňyşlyklar suw akymynyň kese-kesiginiň meýdanyň ölçeglerinde bolýandygyny bellemeli. Hemişe goýberilýän ýalňyşlyklar suwuň tizligini ölçeýän pyrlawajyň berýän ýalňyşlyklary bolup biler.

Umuman, suw mukdarynyň ölçeginde bolýan ýalňyşlyk aňlatma bilen hasaplanýar:

$$\pm\Delta Q_{\%} = (Q_{ölç} - Q_x)\ 100\ \%\ /\ Q_x \qquad (8.7.)$$

bu ýerde:

ΔQ we $\Delta Q_{\%}$ - ölçegdäki suw mukdarynyň ýalňyşlygy, m^3/s we % ;

$Q_{ölc}$ – ölçegler esasynda kesgitlenen suwuň mukdary, m^3/s;

Q_x - suwuň hakyky mukdary, m^3/s.

Mysal üçin, nowhanadan akyp geçýän hakyky suw mukdary 1 m^3/s bolanda, esasy ölçegler geçirilende adaty ýalňyşlyk ±50÷70 l/s, jikme-jik ölçeglerde bolsa $\Delta Q = \pm 25 \div 50$ l/s deň bolýar.

Ýokarky we aşaky kesimlerinde (gözegçilik nokatlarynda) suw mukdarlary analitiki usuly bilen kesgitlenende suw ýitgileri boýunça ýalňyşlyk şu aňlatmalaryň esasynda hasaplanýar:

$$Q_x = q_{ölç} \pm \Delta q\ , \qquad (8.8.)$$

$$\pm\Delta q = q_{ölç} - q_x \quad , \qquad (8.9.)$$

$$\pm\Delta q_{\%} = (q_{ölç} - q_x)\ 100\ \% \ / \ q_x \qquad (8.10.)$$

bu ýerde:

Δq we $\Delta q_{\%}$ - suw ýitgileri boýunça ýalňyşlyk, m^3/s we %;

$q_{ölç}$ - ölçegler esasynda kesgitlenen suw ýitgileri, m^3/s;

q_x - hakyky suw ýitgileri, m^3/s.

Suw mukdary ölçelende bolýan ýalňyşlyklary hasaba almak bilen:

$$Q_x = Q_{x\,1} - Q_{x2}\ ;$$

$$Q_{x\,1} = Q_{ölc1} \pm \Delta Q_1\ ;$$

$$Q_{x2} = Q_{ölc2} \pm \Delta Q_2\ ;$$

bu ýerde:

Q_{x1} we Q_{x2} - nowhananyň böleginiň 1-nji we 2-nji gözegçilik nokatlarynda hakyky suw mukdarlary, m^3/s;

$Q_{ölc1}$ we $Q_{ölc2}$ - şol gözegçilik nokatlarda ölçelen suw mukdarlary, m^3/s;

$\pm\Delta Q$ we $\pm\ \Delta Q_2$ - şol gözegçilik nokatlarynda suw mukdarynyň ölçeglerinde bolan ýalňyşlyklar, m^3/s.

Onda, suw ýitgileriniň ýalňyşlygy şu yzygiderlikde kesgitlener:

$$\pm\Delta q = q_{ölç} - (Q_{x\,1} - Q_{x2}) = q_{ölç} - [(Q_{ölç1} \pm \Delta Q_1) - (Q_{ölç2} \pm \Delta Q_2)]$$
$$= q_{ölç} - [Q_{ölç1} - Q_{ölç2} \pm \Delta Q_1 \pm \Delta Q_2]\ .$$

$$Q_{ölç1} - Q_{ölç2} = q_{ölç}$$

$$\pm\Delta q = q_{ölç} - [q_{ölç} \pm \Delta Q_1 \pm \Delta Q_2\ ]$$

$$\pm\Delta q = \pm\ \Delta Q_1 \pm \Delta Q_2 \qquad (8.11.)$$

Netijede, 1-nji we 2-nji gözegçilik nokatlarynda analitiki usul bilen ölçeg edilen suw mukdarynda dürli tarapa bolan ýalňyşlyklaryň ($+\Delta Q_1$ we $-\Delta Q_2$ ýa-da - ΔQ_1 we $+\Delta Q_2$) täsiri suw ýitgilerini kesgitlemekde has hem ýokary bolýandygyny bellemeli. Bir tarapa goýberilen ýalňyşlyklar ($+\Delta Q_1$ we $+\Delta Q_2$ ýa-da $-\Delta Q_1$ we $-\Delta Q_2$) bolsa, olar gysgalyp suw ýitgileriniň ýalňyşyny peseldýär. Mysal üçin, birinji gözegçilik nokadynda suw mukdary $\Delta Q_1= +30$ l/s -da ýalňyşlyk bilen kesgitlenen bolsa, ikinji gözegçilik nokadynda $\Delta Q_2=-30$ l/s-da ýalňyşlyk edilen bolsa, onda suw ýitgileri kesgitlenende ýalňyşlyk $\Delta q= +60$ l/s-da ýetýär we 2 esse ulalýar. Eger-de suw mukdary ölçelende ýalňyşlyk bir tarapa bolanda $\Delta Q_1= +30$ l/s we $\Delta Q_2= +30$ l/s, onda suw ýitgileriniň ýalňyşlygy Δq nola deň bolýar.

Suw ýitgileriniň ölçegleriniň takyklygyny ýokarlandyrmak üçin jikme-jik ölçegleri geçirmek (5 nokatda tizlik kesgitlemek), ölçegleriň sanyny köpeltmek (her gözegçilik nokadynda azyndan 3-4 gezek ölçegleri geçirmek), nowhananyň ölçeg edilýän böleginiň uzynlygyny uly edip almak nowhananyň ölçeg edilýän böleginde suwy alýan desgalary suw syzylmaz ýaly edip, doly ýapmak maslahat berilýär.

Käbir halatlarda bu usul bilen aýra ölçegleriň esasynda suw ýitgilerini kesgitlemegiň mümkin däldiginem bellemeli. Mysal üçin, nowhananyň suw mukdary uly we ýitgileri az bolan halatlarda.

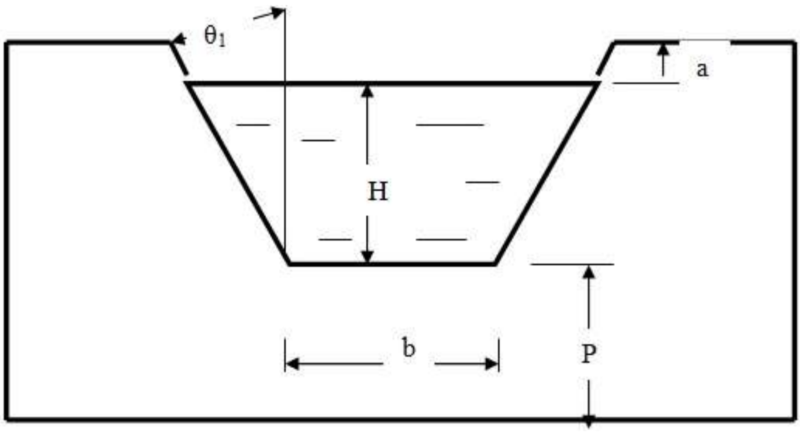
Garagum derýasy ýaly nowhananyň hakyky suw mukdary 70 m^3/s, ýitgileri kesgitlenýän nowhananyň böleginiň uzynlygy L = 10 km we 1 km uzynlygynda ýitgiler 25 l/s-da deň diýip hasap etsek, onda şol bölekde ýitýän suw mukdary 0,25 m^3/s ýa-da 250 l/s-da deň bolýar.

Ölçegler esasynda analitiki usuly bilen kesgitlenilýän suw mukdarynyň ýalňyşlygy ortaça 6 %, bu bolsa ± 4,2 m^3/s ýa-da ± 4200 l/s deňdir. Suw ýitgileri 2 gözegçilik nokadynda ölçelen suw mukdarlarynyň aratapawudy boýunça kesgitlenenden soň bu ýalňyşlyk 2 esse köpelip ±8,4 m^3/s ýetip biler. Hakyky suw ýitgileri bolsa 0,25 m^3/s-da deňdir. Görüşimiz ýaly analitiki usulynyň berýän takyklygy suw ýitgileriniň mukdaryndan 34 esse diýen ýaly pes. Elbetde, bu ýagdaýda analitiki usul bilen suw mukdaryny ölçäp suw ýitgilerini kesgitlemegiň hiç-hili netije bermejekdigi mese-mälim.

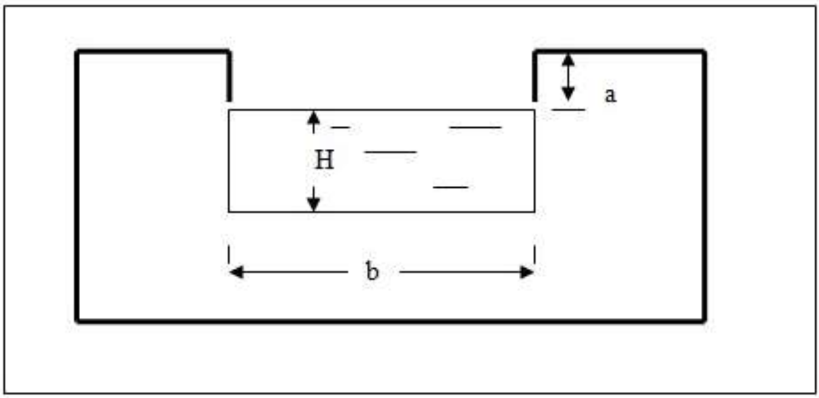
Suw ýitgilerini kesgitlemek üçin suw mukdaryny gidrometriki usulynyň analitiki “meýdan-tizlik” ugry bilen kesgitlemegiň takyklygynyň ýeterlik däldigini S.R. Offengeýden hem belläp geçýär . Şol sebäpli Garagum derýasynda suw ýitgileri suw deňagramlylyk usuly esasynda kesgitlenýär.

Ölçeýji gurallar bilen nowhananyň suw mukdaryny kesgitlemek usuly. Açyk hem-de suw mukdarlary adaty 3m^3/s –dan kän bolmadyk, kiçi nowhanalarda suw mukdary suw ölçeýji gurallaryň kömegi bilen hem kesgitlenip bilner. Bu gurallara dürli görnüşli suw ölçeýji, ýuka diwarly bent gädikleri (wodosliwler) we suw ölçeýji, kesilen konus görnüşindäki oturtmalary (nasadkalary) degişlidir.

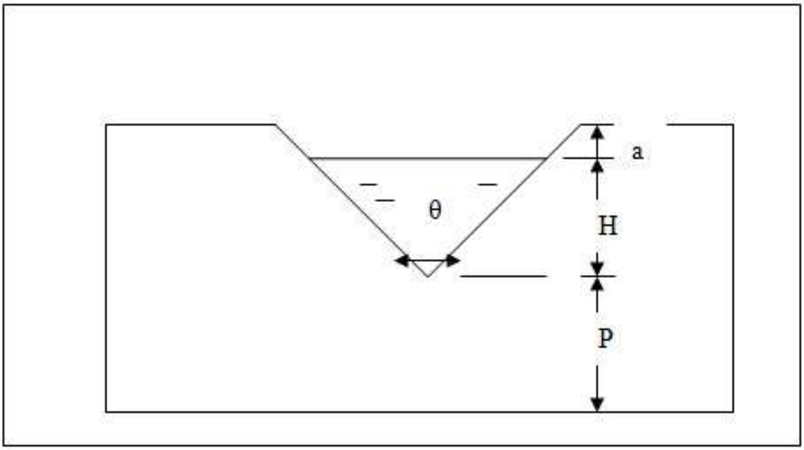
Suw ölçeýji ýuka diwarly bent gädikleri görnüşleri boýunça trapesiýa, gönüburçly we seýrek peýdalanylýan üçburçly, parabola we radial şekilli bolýarlar. Ýuka diwarly bent gädikleri 8.9.-njy suratda görkezilen.



Ýuka diwarly trapesiýa şekilli suw ölçeýji bent gädigi: gapyrgasynyň ýapgytlyk burçy $\theta_1=14^0$ ýa-da ýapgytlyk koeffisiýenti m=tg θ_1=0,25 deň bolan Çippolettiniň bent gädigi.



Ýuka diwarly gönüburç şekilli suw ölçeýji bent gädigi.



Ýuka diwarly üçburç şekilli suw ölçeýji bent gädigi: ölçeg edilýän suwuň mukdaryna baglylykda gapyrgalarynyň < θ burçy 20-120^0 bolup biler, has giňden ulanylýany bolsa <θ = 90^0, Tomsonyň bent gädigidir.

8.9-njy surat. Ýuka diwarly suw ölçeýji bent gädikleri: b-bent gädiginiň bosagasynyň ini; H-bosagada suwuň basyşy (napory); P-bent gädiginiň bosagasynyň beýikligi.

Suw ölçeýji bent gädikleri kiçi ölçegdäki göçme we hemişelik ulanylýanlary bolup, olar demir, beton, plastmassa ýa-da agaç materiallaryndan ýasalyp bilner.

Trapesiýa şekilli Çippolettiniň bent gädiginden erkin ýagdaýdaky akymda geçýän suw mukdaryny aňlatma bilen hasaplap bolar:

$$Q = 1{,}86\ b\ H^{3/2}\ , \qquad (8.12.)$$

bu ýerde:

Q - suwuň mukdary, m^3/s;

b -bent gädiginiň bosagasynyň ini, m;

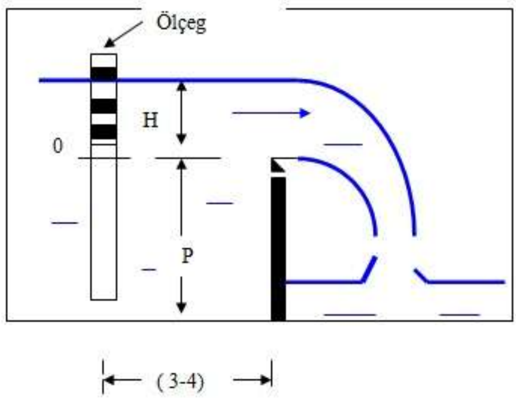
H - bosagada suw basyşy (napory), m.

Üçburç şekilli Tomsonyň bent gädigi 50 l/s-den az bolan suw mukdaryny ölçemek üçin niýetlenendir. Tomsonyň bent gädiginden erkin ýagdaýdaky akymda geçýän suw mukdary aňlatma bilen hasaplanýar:

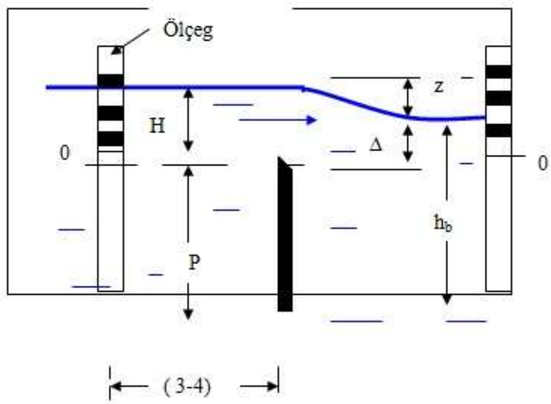
$$Q= 1,4\ H^{5/2} \qquad (8.13.)$$

Bosagada suw basyşyny kesgitlemek üçin ölçeg reýkalary dikilýär. Reýkanyň „0“ başlangyç belligi bent gädiginiň derejesi bilen deň bolmaly. Reýka bent gädiginiň öň tarapyndan 1-1,5 m aralykda dikilýär. Bent gädigi nowhananyň hanasyna perpendikulýar edip goýulmalydyr. Ýuka diwarly demir bent gädigi nowhananyň düýbüne we ýapgytlaryna ýeterlik çuňlukda kakylyp berkidilýär, soňra suw syzylyp geçýän ýerleri toprak we laý bilen gömülip ýapylýar hem-de ähli suw diňe bent gädiginden nowhananyň gädiginden geçer ýaly edilýär. Bent gädigini nowhananyň ortaarasynda ýerleşdirmeli. Gädigiň ýiti tarapy suw akymyň gelýän tarapynda ýerleşdirilýär. Suwuň napory (H) bent gädiginiň ininiň $^{1}/_{3}$ böleginden uly bolmaly däldir. Eger-de bu şert berjaý edilmeýän bolsa, onda ölçegi boýunça uly bent gädigi peýdalanylmalydyr. Bent gädiginiň golaýynda suwuň akym tizligi 0,3 m/s-dan geçmeli däldir, şonuň üçin käbir ýagdaýlarda bent gädiginiň öňünde hananyň ini giňeldilýär ýa-da köşeşdiriji howuz gurulýar.

Suw ölçeýji bent gädikden suw akymynyň erkin ýagdaýyna ýa-da gark bolan ýagdaýlarynda duş gelip bolýar. Erkin ýagdaýda işleýän bent gädiginde suw mukdary ýokary takyklyk bilen kesgitlenýär we ýalňyşlyk 1%-den geçmeýär. Bent gädiginden suwuň erkin we gark bolan ýagdaýdaky akyp geçişiniň çyzgydaky şekili 8.9-njy suratda görkezilýär.



Suw ölçeýji bent gädiginden erkin ýagdaýda suwuň akyp geçişi.



Suw ölçeýji bent gädiginden gark bolan

ýagdaýda suwuň akyp geçişi.

8.10 -njy surat. Suw ölçeýji bent gädiklerinde suw akymlarynyň erkin we gark bolýan ýagdaýlaryndaky görnüşleri.

Suw ölçeýji bent gädikleri hemişelik we göçme görnüşinde bolup bilýär. Hemişelik hyzmat edýän bent gädikleri beton fundamentde gurnalýar. Bu görnüşli bent gädikleri gözegçilik nokadynda nowhanadan akyp geçýän suw mukdaryny üznüksiz ölçemek üçin hyzmat edýär. Göçme görnüşdäki bent gädiklerini gurnamak üçin kän zähmet talap edilmeýär we ölçeg geçirilenden soň olary başga ýere göçürmek bolýar. Göçme suw ölçeýji bent gädikleri bilen ölçeg edilýän suw mukdarlary adaty 0,5 m^3/s-dan geçmeýär.

Iwanowyň suw ölçeýji bent gädigini suw akymynyň erkin we gark bolan ýagdaýlarynda hem ulanyp bolýar. Gark bolan ýagdaýdaky bent gädikleri kiçi eňňidi bolan nowhanalarda 3-5 m^3/s-da çenli bolan suw mukdaryny ölçemek üçin ulanyp bolar. Gädigiň garklyk derejesi 80%-den geçmeli däldir (Ž/H <0,8). Suwuň basyşy (H) bosaganyň $^1/_3$ ininden geçmeli däl. Gark bolan ýagdaýda suw ölçeýji bent gädiginden akyp geçýän suw mukdary tablisadan alynýar ýa-da aňlatma bilen kesgitlenýär:

$$Q = m\, b\, \sigma_n\; 2g\, H^{3/2}\,, \qquad (8.14)$$

bu ýerde:

Q - bent gädiginiň gark bolan ýagdaýynda akyp geçýän suw mukdary, m^3/s;

b - bent gädiginiň bosagasynyň ini, m;

g - erkin gaçmanyň tizlenmesi, m/s^2;

σ_n - gark bolma koeffisiýenti, Bazeniň empiriki aňlatmasy bilen hasaplanýar ýa-da tablisadan alynýar:

$$\sigma_n=1,05\;(1+0,2\;\Delta/P)\;\;Ž/H, \qquad (8.15)$$

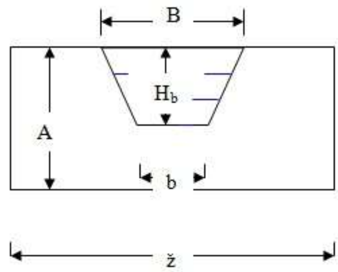
$$Ž = H - a\,,\quad m$$

Ž - suw ölçeýjiniň öňündäki we yzyndaky suw derejeleriniň aratapawudy, m.

Trapesiýa görnüşli ýuka diwarly suw ölçeýji bent gädikleriniň kada ölçegleri 2-1-nji tablisada berilýär.

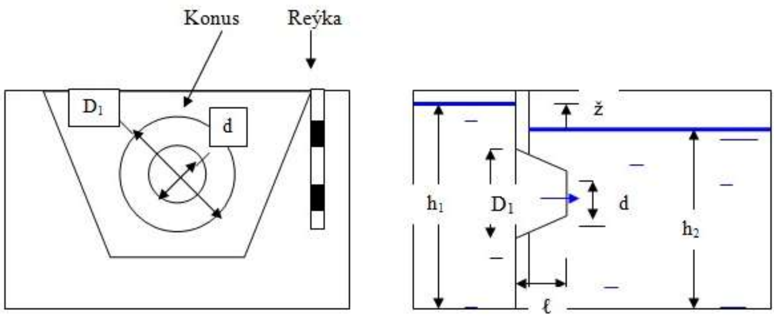
8.3.-nji tablisa

Trapesiýa görnüşli ýuka diwarly suw ölçeýji bent gädikleriniň standart ölçegleri, sm.

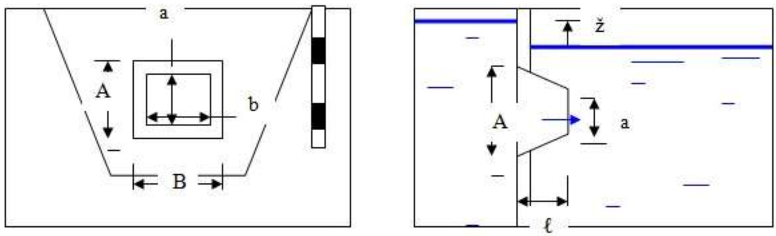
b	B	H_b	A	Ž	Ölçeg birligi
20	26	12	40	100	
50	61	22	55	120	
100	120	40	80	190	
120	146	50	90	200	

Uly bolmadyk içeri hojalyk açyk suwaryş nowhanalarynda 0,5 m^3/s-da çenli bolan suw mukdarlaryny ölçemek üçin kesilen konus görnüşindäki oturtmalar (nasadkalar) hem peýdalanylýar.

Kesilen konus görnüşindäki oturtmalar tegelek, inedördül ýa-da dörtburç şekillerinde bolýar.



a) – tegelek şekilli



b) – dörtburuç şekilli

8.11-nji surat. Kesilen konus görnüşindäki suw ölçeýji oturtmalaryň şekilleri.

Kesilen konus görnüşindäki suw ölçeýji oturtmalaryň kömegi bilen suw mukdary kesgitlenende ýalňyşlyk ±3% töweregidir. Suw ölçeýji oturtmalaryň kadaly işlemegi üçin olaryň suw geçirijiligi nowhananyň geçirijiligi bilen deň bolmaly, konus oturtmasy welin suw derejesiniň astynda ýerleşmelidir. Guralyň öňündäki we yzyndaky suw derejeleriniň aratapawudy Ž=5÷30 sm aralykda bolmaly. Suw ölçeýji oturtmadan geçýän suw mukdary öň hasaplanan jedwellerden, baglanyşyk egri çyzyklaryndan ýa-da ölçegleriň esasynda aňlatma bilen kesgitlenýär:

tegelek şekilli konus oturtmasy üçin:

$$Q = 3{,}9\ d^2\ \check{Z}\ , \qquad (8.21)$$

- dörtburç şekilli konus oturtmasy üçin:

$$Q = 4{,}1a\ b\ \check{Z}\ , \qquad (8.22)$$

- inedördül şekilli konus oturtmasy üçin:

$$Q = 4{,}1\ a^2\ \check{Z} \qquad (8.23)$$

bu ýerde:

Q - kesilen konus görnüşindäki suw ölçeýji oturtmalar bilen kesgitlenen suw mukdary, m^3/s;

Ž - ölçeg reýkalaryň kömegi bilen kesgitlenen suw basyşy (napory), m:

$$Ž = R_ö - R_y,$$

$R_ö$ we R_y - nowhanada suw ölçeýji oturtmanyň öňünde we yzynda reýka bilen kesgitlenýän suw derejeleri, m;

a,b we d - suwuň çykýan ýerinde oturtmanyň deşiginiň beýikligi, ini we diametri, m.

Kesilen konus görnüşindäki suw ölçeýji oturtmalarynyň ölçegleri 2-2 we 2-3-nji tablisalarda berlen.

8.4-nji tablisa

Tegelek şekilli kesilen konus görnüşindäki oturtmalaryň standart ölçegleri.

Konus oturtma-nyň №	Çykalga deşiginiň diametri, sm	Girelge deşiginiň diamtri D_1, sm	Kesik oturtma konusyň uzynlygy l, sm	Suw derejeleriniň aratapawudy ž, sm	Suw geçirijilik ukyby Q, l/s	Ölçeg belgileri
1	10	20	20	20	15	2.6 – njy a) suratda berlen. D_1=1,92d ℓ=2d d-suw akymynyň çykýan ýerindäki diametri.
2	15	29	30	20	35	
3	25	48	50	25	100	
4	30	57	60	25	150	
5	35	57	70	25	200	
6	40	76	80	25	300	

8.5-nji tablisa

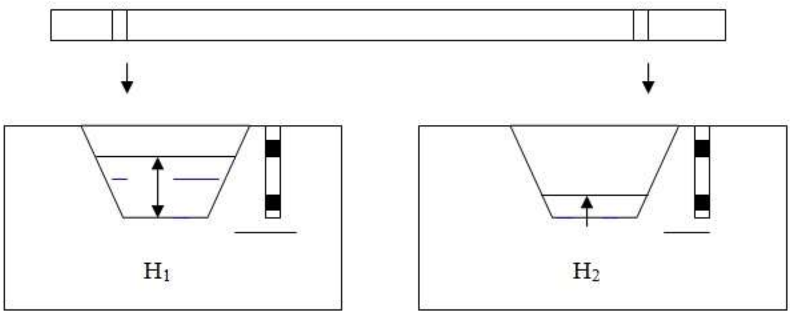
Dörtburç şekilli kesilen konus görnüşindäki oturtmalaryň standart ölçegleri.

Konus oturtmanyň №	Çykalgada deşigiň beýikligi a,sm	Çykalgada deşigiň ini b,sm	Girelgede deşigiň beýikligi, A, sm	Girelgede deşigiň ini, B,sm	Kesik oturtma konusyň uzynlygy l, sm	Suw derejeleriniň aratapawudy ž, sm	Suw geçirijilik ukyby Q, l/s	Ölçeg belgileri
1	10	20	19	29	30	20	37	2.6 – njy b) suratda berlen
2	15	30	29	44	45	20	82	
3	20	40	38	58	60	25	105	
4	25	50	47	72	75	25	250	
5	30	60	57	87	90	25	370	
6	35	70	66	101	105	25	500	

Suw ýitgileri gidrometriki usuly bilen (2-1)-nji aňlatmanyň üsti bilen kesgitlenende onuň takyklygy suw mukdarynyň

ölçeg takyklygyna baglydygyny öň belläp geçipdik. Bu ýerde ýene-de bir bellemeli zatlaryň biri ol hem suw ölçeýji bent gädikleri bilen suw mukdary ölçenende suw ýitgileriniň mukdary ýönekeý usulda we mese-mälim görünýän ýagdaýda kesgitläp bolýanlygydyr. Onuň üçin suw ölçegleri bir wagtyň dowamynda suw ýitgileri kesgitlenýän nowhananyň bellenen böleginiň başynda we soňunda 2 sany ölçegleri birmeňzeş trapesiýa şekilli bent gädikleri bilen geçirilmelidir. Ölçegleri birmeňzeş demir ýa-da plastmass materiallaryndan trapesiýa şekilli bent gädiklerini, olaryň ýönekeýligi sebäpli dürli hojalyk şertlerinde ýasamak bolýandygynam bellemeli.

Ölçegde goýulan iki bent gädikleriniň meňzeşligi sebäpli olarda bolýan hemişelik ýalňyşlyklar (8.1-nji aňlatma) gysgalýar. Şonuň üçin şol ýerde suwuň mukdarlarynyň ölçegleri geçirlende eýýäm, suw ýitgileriniň bardygy bildirýär we birmeňzeş gädiklerden agyp geçýän suw derejelerinden anyk görünýär (8.12-nji surat).



1-nji gözegçilik nokadynda gädikden agýan suwuň galyňlygy (H_1)

2-nji gözegçilik nokadynda gädikden agýan suwuň galyňlygy (H_2)

8.12-nji surat. Kiçi nowhananyň L uzynlygyndaky böleginde 2 sany birmeňzeş trapesiýa şekilli bent gädigi bilen suw mukdarlarynyň ölçegi geçirlende agyp geçýän suwuň galyňlygyndan suw ýitgileriniň görünýändiginiň çyzgy üsti bilen şekillendirilişi.

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, TPI 2000.
11. Альтшуль А. Д., Животовский С.Л., Иванов Л.П. «Гидравлика и аэродинамика». Москва, 1987.
12. Куколевский И.И., Подвидз Л.Г. «Сборник задач по машиностроительной гидравлике». Москва, 1982.
13. Агрошкин И.И. «Задачи по гидравлике». Москва, 1984.
14. В.М.Земцов. Гидравлика . Москва, 2007.
15. G.D.Kurtowezow, P.Ataýew. Gidrawlika dersinden tejribe işleriň usuly gollanmasy. Aşgabat, TDNweGI, 2013 ý.
16. И.М.Астрахан и др. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтяных Вузов. РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, М.: 2007, 304с.
17. Н.З.Френкель. Гидравлика. М, 1956
18. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. Машиностроение, М.: 1977, 439с.
19. H.N.Şaripow. Gidrawlika dersi boýunça okuw gollanmasy. Aşgabat,TPI, 2004 ý.

MAZMUNY

III BAP. GIDROGAZODINAMÇIKANYŇ NAZARY ESASLARY

IV BAP. GIDRAWLIKI GARŞYLYKLAR WE NAPORYŇ ÝITGILERI

V BAP. TURBAGEÇIRIJILERIŇ GIDRAWLIKI HASAPLAMALARY

VI BAP.
SUWUKLYGYŇ DEŞIKLERDEN WE OTURTMALARDAN AKYP ÇYKYŞY

VII BAP. ÝERASTY GIDRAWLIKA

VIII BAP. GIDROMETRIÝA