

A. M. Arifjanov, X. Fayziyev,
A. U. Toshxo'jayev

GIDRAVLIKA

darslik





O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
TOSHKENT ARHITEKTURA QURILISH INSTITUTI

A.M. Arifjanov, X. Fayziyev, A.U.Toshxo'jayev

GIDRAVLIKA

darslik

5340700 - Gidrotexnika qurilishi (daryo inshootlari va gidroelektrostansiyalar qurilishi) bakalavriat ta'lim yo'nalishi mutaxassisligida tahsil olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan

YOSHLAR NASHRIYOT UYI
TOSHKENT - 2020

UDK – 621.22.(075.8)

KBK 30.123ya73

A 75

Arifjonov, A.M.

Gidravlika: darslik / A.M.Arifjonov, X.Fayziyev, A.U.Toshxo'jayev. - Toshkent :
Yoshlar nashriyot uyi, 2020. - 372 b.

Ushbu darslikda quvurlar, kanallar va gidrotexnik inshootlardagi gidravlik jarayonlar bayon etilgan va ularning gidravlik hisobi informatsion texnologiyalardan (EHMdan) foydalangan holda bajarish uslublari keltirilgan. Har bir bo'limi yangi masalalar va ularning yechimi bilan boyitilgan.

Darslik O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan «Gidravlika» fani o'quv dasturi asosida yozilgan bo'lib, darslik Gidravlika kursi rejalashtirilgan barcha bakalavriat yo'nalishlari va magistratura mutaxassisligi talabalari foydalanishlari uchun mo'ljallangan. Darslikda sohada erishilgan yangi fan yutuqlari ham o'z aksini topgan. Darslikdan soha mutaxassislari ham keng foydalanishlari mumkin.

Taqrizchilar:

Sherov A.; TIQXMMI Gidromeliorativ tizimlardan
foydalanish kafedrasi mudiri t.f.d.

Narbayev S.; TAQI MQI fakulteti dekani t.f.n., dots.

© A.M. ARIFJANOV, X. FAYZIYEV,
A.U.TOSHXO'JAYEV

© YOSHLAR NASHRIYOT UYI, 2020

ISBN 978-9943-6680-4-1

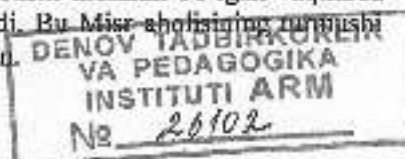
KIRISH

Suyuqliklarning muvozanat va harakat qonunlarini o'rganuvchi hamda bu qonunlarni texnikaning har xil sohalariga tatbiq etish bilan shug'ullanuvchi fan gidravlika deb ataladi. Gidravlika suyuqliklarda kuchlarning tarqalishi va uning harakat davomida o'zgarib borishi qonunlarini har xil qurilmalar va mashinalarni hisoblash hamda loyihalashga tatbiq etish bilan ham shug'ullanadi.

Gidravlika shuningdek, gidrotexnika, irrigatsiya, suv ta'minoti va kanalizatsiya, neft mexanikasi kabi bir qancha fanlarning asosi hisoblanadi. Insoniyat tarixining dastlabki davrlaridayoq suvdan foydalanish hayotda ma'lum o'rin egallagan. Arxeologik tekshirishlar odamlar juda qadim zamonlardan (eramizdan 4000-2000-yillar avval) turli gidrotexnika inshootlari qurishni bilganliklarini ko'rsatadi. Qadimgi Xitoyda, Misrda, Gretsiyada, Rimda, Markaziy Osiyoda va boshqa ibtidoiy madaniyat o'choqlarida kemalar, to'g'onlar, suv ta'minoti va sug'orish sistemalari bunyod etilganligi to'g'risida ma'lumotlar mavjud. Bu qurilmalarning qoldiqlari hanuzgacha saqlanib qolgan. Lekin u davrlarda bunday qurilish ishlari haqida hech qanday hisoblashlar saqlanmaganligi, ular faqat amaliy bilimlarga tayanagan ilmiy nazariy asosga ega emas degan fikrga olib keladi.

Bizgacha yetib kelgan, gidravlikaga aloqador ilmiy ishlardan birinchisi Arximedning "Suzib yuruvchi jismlar haqida" asari bo'lsa, keyinchalik VIII-XI asrlarda Markaziy Osiyoda yashab ijod qilgan qator olimlarning asarlarida gidravlikaga oid masalalar o'z aksini topgan. Jumladan, buyuk vatandoshimiz Ahmad Farg'oniy (832-833-yillarda) Shom (Suriya) shimolidagi Sinjor dashtida Tadmur va ar-Raqqa oralig'ida yer meridian bir darajasining uzunligini o'lchashda qatnashdi. Yuqorida aytib o'tganimizdek, Ahmad Farg'oniy Nil daryosidagi suv sathini o'lchaydigan inshoot barpo etish uchun Misrning Qohira shahri yaqinidagi Fustat shahriga keladi. Ilmiy-texnik va me'moriy jihatdan g'oyat ulug'vor bu qurilma Nil daryosining Sayyolat ul-Rod mavzesida hozirga qadar saqlanib qolgan.

Shuni qiziqki, aynan shu uskuna yordamida Misr aholisidan olinadigan yillik soliq miqdori belgilanib turilgan. Ya'ni, suv sathi ekinlarni sug'orish uchun qulay kelib, bir me'yorda oqsa, soliqning miqdori shunga qarab ko'tarilgan. Yoki suv sathi kamayib qurg'oqchilik boshlanadigan, aksincha suv ko'tarilib, ekinlarni yuvib ketishi mumkin bo'lgan vaqtlarda soliqlar miqdori kamaytirilishi mumkin edi. Bu Misr aholisining turmushi uchun adolatli qonunlardan biri hisoblangan.



Suyuqlik qonunlarining ochilishi eramizning XVI – XVII asrlaridan boshlandi. Bularga Leonardo da Vinchining suyuqliklarning o'zandagi va quvurdagi harakati, jismlarning suzib yurishi va boshqalarga bog'liq ishlari, S. Stevenning idish tubiga va devorlariga ta'sir qiluvchi bosim kuchi, G. Galileyning jismlarning suyuqlikdagi harakati va muvozanati haqidagi ishlari, Y. Torichellining suyuqliklarning kichik teshikdan oqib ketishi, B. Paskalning bosimning suyuqlik orqali uzatilishi to'g'risidagi, I. Nyutonning suyuqliklardagi ichki qarshiliklar qonuni va boshqa ishlar kiradi. Keyinchalik suyuqliklarning muvozanat va harakat qonunlari ikki yo'nalish bo'yicha taraqqiy qila boshladi. Bulardan biri tajribalarga asoslangan gidravlika bo'lsa, ikkinchisi nazariy mexanikaning mustaqil bo'limi sifatida taraqqiy qila boshlagan nazariy gidromexanika edi. Nazariy gidromexanika aniq matematikaga asoslangan bo'lib, suyuqlik qonunlarini differensial tenglamalar bilan ifodalash va ularni yechishga asoslanadi. Bu nazariy bilimlarning taraqqiy qilishiga XVII-XVIII asrlarda yashagan buyuk matematik-mexanik olimlar L.Eyler, D.Bernulli, M.Lomonosov, Lagranjlarining ilmiy asarlari asos bo'ldi. U vaqtidagi ishlar sof nazariy bo'lib, suyuqliklarning fizik xossalarini ideallashtirib ko'rilar va olingan natijalar harakat tarzlarini to'g'ri ifodalagani bilan tajriba natijalaridan juda uzoq edi. Shuning uchun bu ishlar gidromexanikaning taraqqiyotida aytarlik muhim rol o'ynamas edi va gidromexanika o'sha zamon texnikasi qo'ygan talabga javob bera olmas edi. XVIII-XIX asrlarda A.Shezi, A.Darsi, Bussinesk, Yu.Veyshax va boshqa olimlarning ishlari hozirgi zamonda gidravlika deb ataluvchi amaliy fanining asosi bo'ldi. Gidravlika o'z xulosalarini suyuqlik harakatining soddalashtirilgan sxemalarini qarash asosida chiqaradi va odatda, nazariy tenglamalarga empirik koeffitsiyentlar kiritib, ularni tajribalar o'tkazish yo'li bilan aniqlaydi. Keyinchalik esa gidravlika bilan gidromexanika fani o'zaro yaqinlashib, bir-birini to'ldiruvchi fanga aylandi. Hozirgi zamon gidravlikasi nazariyani tajriba bilan bog'lab, nazariy tekshirishlarni tajribada sinash, tajriba natijalarini esa nazariy asosda umumlashtirish yo'li bilan taraqqiy qilib boruvchi va o'z tekshirishlarida gidromexanikaning usullari hamda yutuqlaridan foydalanib boruvchi fandir. Bu yo'nalishda Gidravlikaning taraqqiyotida quyidagi olimlarning muhim hissasi bor. Peterburg fanlar Akademiyasining a'zolari bo'lib, Rossiyada yashab, ijod etgan D. Bernulli va L.Eylerning gidromexanika fanining asoschilari sifatida yaratgan ishlanmalari, N.P.Petrovning gidrodinamik sirpanish nazariyasi, N.Ye.Jukovskiyning gidromexanikadagi muhim ishlari va quvurlardagi zarba nazariyasi, A.N.Krilovning kemalar nazariyasi, N.N.Pavlovskiyning suyuqliklarning

filtratsiyasi nazariyasi, L.S.Leybenzonning yer osti gidromexanikasi va boshqa olimlarning ishlari dunyo faniga qo'shilgan buyuk hissa bo'lib hisoblanadi. N.Ye.Jukovskiy, S.A.Shapligin va N.Ye.Koshinlar zamonaviy aerodinamika va gaz dinamikasining asoschilari bo'lib, bu fanlar hozir ham samolyot va raketalar harakatini o'rganishda katta rol o'ynaydi. Hozirgi zamon neft sanoati va texnikasida o'zbek olimi X.A.Raxmatulin asos solgan ko'p fazali muhitlar gidrodinamikasi muhim ahamiyatga ega ishlardan hisoblanadi. Respublikamiz iqtisodiyotining barcha sohalarida amalga oshirilayotgan islohotlarning muvaffaqiyatida, jumladan irrigatsiya va melioratsiya, sug'orish tizimi, kimyo sanoati, qishloq xo'jaligi, mashinasozlik sanoati va texnikaning bir qancha sohalarida gidravlikaning ahamiyati beqiyosdir.

1 BOB. SUYUQLIKLARNING ASOSIY FIZIK XOSSALARI

1.1. Suyuqlik to'g'risida asosiy tushunchalar

Juda kichik miqdordagi kuchlar ta'sirida o'z shaklini o'zgartiruvchi, lekin siqilishga qattiq qarshilik ko'rsatuvchi fizik jismlar suyuqliklar deb ataladi. Ular qattiq jismlardan o'z zarrachalarining juda harakatchanligi bilan ajralib turadi va oquvchanlik xususiyatiga ega bo'ladi. Shuning uchun ular qaysi idishga quyilsa, o'shaning shaklini oladi. Gidravlikada suyuqliklar ikki gruppaga: tomchilanuvchi suyuqliklarga va gazsimon suyuqliklarga ajraladi. Suyuqlik deganda tomchilanuvchi suyuqlikni tushunishga odatlanilgan bo'lib, ular suv, spirt, neft, simob, turli moylar va tabiatda hamda texnikada uchraydigan boshqa har xil suyuqliklardir.

Tomchilanuvchi suyuqliklar bir qancha xususiyatlarga ega:

1) hajmi bosim ta'sirida juda kam o'zgaradi va siqilishga qarshiligi juda katta;

2) harorat o'zgarishi bilan hajmi oz miqdorda o'zgaradi;

3) cho'zuvchi kuchlarga deyarli qarshilik ko'rsatmaydi;

4) sirtida molekulalararo o'zaro qovushqoqlik kuchi yuzaga keladi va u sirt taranglik kuchini vujudga keltiradi.

Tomchilanuvchi suyuqliklarning boshqa xususiyatlari to'g'risida keyinchalik yana to'xtalib o'tamiz.

Gazlar tomchilanuvchi suyuqliklardagiga nisbatan ham tezroq harakatlanuvchi zarrachalardan tashkil topgan bo'lib, ular bosim va temperatura ta'sirida o'z hajmini tez o'zgartiradi. Ularda cho'zuvchi kuchga qarshilik va qovushqoqlik kuchi tomchilanuvchi suyuqliklarga nisbatan juda ham kam. Gazlar bilan gaz dinamikasi, termodinamika va aerodinamika fanlari shug'ullanadi.

Gidravlika kursi asosan tomchilanuvchi suyuqliklar bilan shug'ullanadi. Shuning uchun uni bundan buyon to'g'ridan-to'g'ri suyuqlik deb atayveramiz.

Suyuqliklar tutash jismlar qatoriga kiradi va muvozanat hamda harakat hollarida doimo qattiq jismlar (suyuqlik solingan idish tubi va devorlari, quvur va kanallarning devorlari va boshqalar) bilan chegaralangan bo'ladi. Suyuqliklar gazlar (havo) bilan ham ma'lum chegara bo'yicha ajralishi mumkin. Bu chegara erkin sirt deb ataladi.

Suyuqliklar siljituvchi kuchlarga sezilarli darajada qarshilik ko'rsatadi va bu qarshilik ichki kuchlar sifatida namoyon bo'ladi. Ularni aniqlash suyuqliklar harakatini tekshirishda muhim ahamiyatga egadir.

1.2. Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar

Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar qo'yilish usuliga qarab ichki va tashqi kuchlarga ajraladi:

Ichki kuchlar - suyuqlik zarrachalarining o'zaro ta'siri natijasida vujudga keladi;

Tashqi kuchlar - suyuqlikka boshqa jismlarning ta'sirini ifodalaydi (masalan, suyuqlik solingan idish devorlarining ta'siri, ochiq yuzaga ta'sir qilayotgan havo bosimi va h.k.).

Ichki kuchlar siljituvchi kuchlarga qarshilik sifatida namoyon bo'ladi va *ichki ishqalanish* kuchi deyiladi. Tashqi kuchlarni yuza bo'yicha va hajm bo'yicha ta'sir qiluvchi kuchlar sifatida ko'rish mumkin. Shuning uchun suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar yuza bo'yicha yoki hajm bo'yicha ta'sir qilinishiga qarab yuzaki va massa kuchlarga bo'linadi.

Yuzaki kuchlar - qarayotgan suyuqlik hajmining sirtlariga ta'sir qiluvchi kuchlardir. Ularga bosim kuchi, sirt taranglik kuchi, suyuqlik solingan idish devorining reaksiya kuchlari, ichki ishqalanish kuchi kiradi. Ichki ishqalanish kuchlari suyuqlik harakat qilgan vaqtda yuzaga keladi va qovushqoqlik xususiyatini yuzaga keltiradi.

Massa kuchlar - qarayotgan suyuqlik hajmining har bir zarrasiga ta'sir qiladi va uning massasiga proporsional bo'ladi. Ularga og'irlik va inertsia kuchlari kiradi.

1.3. Suyuqliklarning fizik xossalari

1. Zichlik. Suyuqlikning hajm birligiga to'g'ri kelgan tinch holatdagi massasi uning zichligi deb ataladi. Bu ta'rifga asosan

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1.1)$$

bunda M - suyuqlikning massasi (birligi $\frac{kg}{m^3}$).

Zichlikning o'lchov birligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{kg}{m^3}$$

Ba'zan nisbiy zichlik tushunchasi kiritiladi. Suyuqlik zichligining suvning 4°C issiqlidagi zichligiga nisbati uning nisbiy zichligi bo'ladi. (1.1) va (1.5) lardan ko'rinib turibdiki, zichlik bilan solishtirma og'irlik o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1.2)$$

u holda nisbiy zichlik va nisbiy solishtirma og'irliklar o'zaro quyidagicha bog'lanadi:

$$\rho_{rel} = \frac{M_{rel}}{M_{rel}} = \frac{G_{rel}}{G_{rel}} = \gamma_{rel} \quad (1.3)$$

Zichlik temperaturaga bog'liq bo'lib, odatda, temperatura ortishi bilan kamayadi. Bu o'zgarish neft mahsulotlari uchun quyidagi munosabat orqali ifodalanadi:

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta(t - 20)} \quad (1.4)$$

bunda t - temperatura (birligi $^{\circ}\text{C}$), β - hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti; ρ_{20} - suyuqlikning 20°C dagi zichligi.

Suvning zichligi bu qonundan mustasno bo'lib, uning zichligi eng katta qiymatga 4°C (aniqrog'i 3.98°C) da ega bo'ladi. Uning issiqligi bundan oshsa ham, kamaysa ham zichligi kamayib boradi.

2. Solishtirma og'irlik. Suyuqlikning hajm birligidagi og'irligi uning solishtirma og'irligi deb ataladi va grekcha γ harfi bilan belgilanadi. Yuqorida aytilgan ta'rifga asosan

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.5)$$

bu yerda V - suyuqlik hajmi (birligi m^3), G - og'irligi (birligi N). Solishtirma og'irlikning o'lchov birligi SI sistemasida

$$[\gamma] = \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

texnik sistemada esa $\frac{\text{kgk}}{\text{m}^3}$ - bo'lib, ular o'zaro quyidagicha bog'langan:

$$1 \frac{\text{kgk}}{\text{m}^3} = 9.80665 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Solishtirma og'irlik hajmi avvaldan ma'lum bo'lgan turli idishlardagi suyuqliklarning og'irligini o'lchash usuli bilan yoki areometrlar yordami bilan aniqlanadi.

Solishtirma og'irlik bosimga va temperaturaga bog'liq bo'lib, ular o'rtasidagi munosabat ideal gazlar uchun quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\frac{p}{T} = \frac{R}{V} \quad (1.6)$$

bu yerda p - bosim ($\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$), T - absolyut temperatura, R - gaz doimiysi

$$(R_{\text{molar}} = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{grad}}, R_{\text{molar}} = 518 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{grad}})$$

Suyuqlik solishtirma og'irligining 4°C dagi suvning solishtirma og'irligiga nisbati uning nisbiy solishtirma og'irligi bo'ladi.

3. Suyuqliklarning temperaturadan kengayishi. Yuqorida aytib o'tilganidek, zichlik issiqlik o'zgarishi bilan o'zgarib boradi. Bu esa o'z-o'zidan issiqlik o'zgarishi bilan hajmning o'zgarishini ko'rsatadi. Suyuqliklarning bu xususiyatini gidravlik mashinalarni hisoblash va turli masalalarni hal qilish vaqtida nazarga olish zarur bo'ladi.

Suyuqlikning issiqlikdan kengayishini kolbaga solingan suyuqlikning qizdirilganda hajmi ko'payishi, suyuqlik to'ldirilib germetik yopib qo'yilgan boshqa va sistemalarning quyosh nurida qolganda yorilib ketishi, to'ldirilgan idishdagi suyuqlikning sirtidan oqib tushishi kabi hodisalarda juda ko'p uchratish mumkin.

Suyuqliklarning bu xususiyatidan foydalanib suyuqlik termometrlari va boshqa turli sezgir o'lchov asboblari yaratiladi. Suyuqliklarning isitilganda kengayishini ifodalash uchun hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti degan tushuncha kiritilib, u β bilan belgilangan.

1.1-judval. Suvning hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti β , $1/\text{grad}$

Bosim, MN/m ²	T $^{\circ}\text{C}$				
	1-10	10-20	40-50	60-70	90-100
0,1	0,000014	0,000150	0,000422	0,000556	0,000719
9,8	0,000043	0,000165	0,000422	0,000548	0,000714
19,6	0,000072	0,000183	0,000426	0,000539	0,000561
49,0	0,000149	0,000236	0,000429	0,000523	0,000621
88,3	0,000229	0,000294	0,000437	0,000514	

Birlik hajmdagi suyuqlikning temperaturasi 1°C ga oshirilganda kengaygan miqdori uning *hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti* deyiladi va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1.7)$$

bunda $\Delta V = V - V_0$ - qizdirilgandan keyingi va boshlang'ich hajmlar farqi; $\Delta t = t - t_0$ - temperaturalar farqi;

$$[\beta] = \frac{1}{\text{grad}}$$

β juda kichik miqdor bo'lib, u suv uchun $\beta = 210^{-5} \frac{1}{\text{grad}}$, mineral moylar uchun $\beta = 710^{-5} \frac{1}{\text{grad}}$; simob uchun $\beta = 1810^{-5} \frac{1}{\text{grad}}$.

4. Suyuqliklarning siqilishi. Gidravlik hisoblash ishlarida suyuqliklarni siqilmaydi deb hisoblash kerak, deb aytib o'tgan edik (bu yerda tomchilanuvchi suyuqlik nazarda tutiladi).

Lekin texnikada va tabiatda ba'zi hollarda bosim juda katta bo'ladi. Bunda agar suyuqlikning umumiy hajmi ham katta bo'lsa, hajm o'zgarishi sezilarli miqdorda bo'ladi va uni hisobga olish kerak.

Suyuqliklarning siqilishini hisobga olish uchun *hajmiy siqilish koeffitsiyenti* degan tushuncha kiritiladi va u β , bilan belgilanadi (ba'zida β_v bilan ham belgilanadi). Birlik hajmdagi suyuqlikning bosimini bir birlikka oshirganda kamaygan miqdori hajmiy siqilish koeffitsiyenti deyiladi va u quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\beta_v = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (1.8)$$

bunda $\Delta p = p - p_0$ - o'zgargan va boshlang'ich bosimlar farqi; β_v ham β , kabi juda kichik miqdor bo'lib, suv uchun $\beta_v = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{MN}$ (MN - meganyuton = $10^6 \text{ N} \approx 10 \text{ ar}$), mineral moylar uchun $\beta_v = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{MN}$; shuning uchun ham ko'p hollarda siqilishni hisobga olinmaydi.

1.2-jadval. Suvning hajmiy siqilish koeffitsiyenti $\beta_v \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{N}$

t, °C	Bosim, MN/m ²				
	0.5	1.0	2.0	3.9	7.9
0	0,00000540	0,00000537	0,00000531	0,00000523	0,00000515
5	0,00000529	0,00000523	0,00000518	0,00000508	0,00000493
10	0,00000523	0,00000518	0,00000508	0,00000498	0,00000481
15	0,00000518	0,00000510	0,00000503	0,00000488	0,00000470
20	0,00000515	0,00000505	0,00000495	0,00000481	0,00000460

5. Solishtirma hajm. Suyuqlikning og'irlik birligidagi miqdorining hajmi solishtirma hajm deyiladi va hajmni og'irlikka bo'lish yo'li bilan aniqlanadi:

$$\nu = \frac{V}{G} \quad (1.9)$$

(1.5) va (1.9) formulalardan ko'rinib turibdiki:

$$\gamma \nu = 1 \text{ yoki } \nu = \frac{1}{\gamma}$$

Solishtirma hajmning o'lchov birligi SI sistemasida:

$$[\nu] = \frac{[\text{V}]}{[\text{G}]} = \frac{\text{m}^3}{\text{N}}$$

Solishtirma hajm ham solishtirma og'irlik kabi bosim va temperaturaga bog'liq bo'lib, u (1.6) ning boshqa ko'rinishi

$$p\nu = RT \quad (1.10)$$

orqali ifodalanadi.

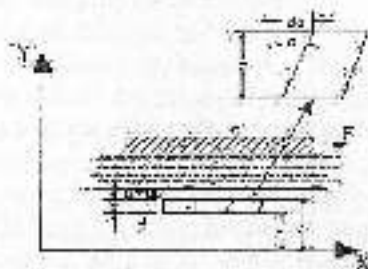
1.4. Suyuqliklardagi ishqalanish uchun Nyuton qonuni. Qovushqoqlik

Qovushqoqlik hodisasi suyuqliklarning harakati vaqtida yuzaga keladi va harakatlanayotgan zarracha harakatiga qarshilik sifatida namoyon bo'ladi. Bu qarshilikni yengish uchun ma'lum miqdorda kuch sarflash kerak bo'lib, qovushqoqlik qancha kuchli bo'lsa, sarflash kerak bo'lgan kuch ham shuncha ko'p bo'ladi. Qovushqoqlik darajasini ikki xil, dinamik va kinematik qovushqoqlik koeffitsiyentlari bilan ifodalanadi.

Dinamik qovushqoqlik. Suyuqlikni katta yuzaga ega bo'lgan idishga solib, uning yuziga biror plastinka qo'ysak va bu plastinkani ma'lum bir kuch bilan torta boshlasak, suyuqlik zarrachalari plastinka sirtiga yopishishi natijasida harakatga keladi (1.1 -rasm). Agar plastinkaning qo'yilgan F kuch ta'sirida olgan tezligi u bo'lsa, unga yopishib turgan zarrachalar ham u tezlikka ega bo'ladi. Idishning pastki devori harakatga kelmagan sububli uning sirtidagi zarrachalar harakat qilmaydi. Shunday qilib, suyuqlikning qalinligi bo'yicha xayolan bir qancha yupqa qatlamlar bor deb faraz qilsak, har bir qatlamda zarrachalar tezligi har xil bo'lib, u plastinkadan pastki devorga tomon kamayib boradi. Harakat ixtiyoriy qatlamga, uning ustida joylashgan boshqa qatlam zarrachalari orqali beriladi. Bu harakat suyuqlik qatlamlarining deformatsiyalanishiga olib keladi. Agar suyuqlik ichida pastki sirti idishning harakatsiz devoridan y_1 masofada, ustki sirti esa y_2 masofada bo'lgan qatlamni ko'z oldimizga keltirsak, yuqorida aytilgan sabablarga asosan uning pastki sirtida tezlik u_1 yuqorigi sirtida esa u_2 bo'ladi. Shunday qilib, olingan qatlamning qalinligi $\Delta y = y_2 - y_1$ bo'yicha suyuqlik tezligi $(u_2 - u_1) = \Delta u$ miqdorga o'zgaradi, ya'ni qatlamning yuqorigi sirti pastki sirtiga nisbatan siljib qoladi va qatlam 1.1- rasmida ko'rsatilgandek deformatsiyalanadi. Siljish burchagini α deb belgilsak, siljish kattaligi $\tan \alpha = \frac{\Delta u}{\Delta y}$ bo'ladi. Qatlam qalinligini cheksiz kichraytirib

differensial belgilashga o'tsak, u holda yuqoridagi nisbat tezlik gradiyenti $\left(\frac{du}{dy}\right)$ ni beradi. Agar suyuqlik sirtidagi plastinkaga qancha ko'p kuch

qo'ysak, siljish shuncha ko'p bo'ladi. Bu narsa qo'yilgan kuch bilan tezlik gradiyenti orasida qandaydir bog'lanish mavjudligini ko'rsatadi.



1.1- rasm. Qovushqoqlik tushunchasiga doir chizma.

Shunday qilib, suyuqliklardagi ichki ishqalanish kuchi tezlik gradiyentiga bog'liq ekanligini tushunish mumkin.

1686 y. I. Nyuton ana shu bog'lanishni chiziqli bog'lanishdan iborat dogan gipotezani oldinga surdi. Bu gipotezaga asosan suyuqlikning ikki harakatlantiruvchi qatlamlari orasidagi ishqalanish kuchi F qatlamlarning tegib turgan sirti (S) ga va tezlik gradiyentiga to'g'ri proporsional, ya'ni:

$$F = \mu S \frac{dv}{dy} \quad (1.11)$$

Proporsionallik koeffitsiyenti μ Qovushqoqlik dinamik koeffitsiyenti deb qabul qilingan. Nyuton gipotezasi keyinchalik N. P. Petrov tomonidan nazariy asoslab berildi. Albatta, hisoblash ishlarini osonlashtirish uchun ishqalanish kuchining birlik yuzaga to'g'ri kelgan miqdori yoki gidravlikada urinma zo'riqish (ishqalanish kuchidan zo'riqish) deb atalgan miqdorga o'tish zarur bo'ladi. Bu miqdorni grekcha τ harfi bilan belgilanadi:

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1.12)$$

bu yerda musbat va manfiy ishora tezlik gradiyentining yo'nalishiga qarab tanlab olinadi.

Prof. K.Sh. Latipovning ishlarida urinma zo'riqish ikki tashkil etuvchining yig'indisidan iborat deb qarash zarurligi ko'rsatildi:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = [\mu_1(1 - \alpha_1) + \mu_2] \frac{dv}{dy} + B \quad (1.12a)$$

bu yerda $\mu_2 = (1 - \alpha_1)$ — bir qavatdan ikkinchi qavatga molekulalarning o'tishini bildiruvchi koeffitsiyentdir.

(1.12) formuladan ko'rinadiki, ishqalanish kuchidan zo'riqish tezlik gradiyentiga (yoki umumiyroq qilib aytganda tezlikning normal ho'yicha hosilasi) ga to'g'ri proporsionaldir.

Qovushqoqlik koeffitsiyentining birligi SI da quyidagicha:

$$[\mu] = \left[\frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \right] = \frac{N \cdot s}{m^2}$$

SGS sistemasida esa $\frac{dinas}{m^2}$ bilan o'lanadi. Bu birlik Puaz (PZ) deb ham ataladi. Koeffitsiyent juda kichik bo'lganda santipuaz (spz) va millipuaz (mpz) larda ham o'lanishi mumkin.

Kinematik Qovushqoqlik koeffitsiyent. Gidravlikadagi ko'pgina hisoblash ishlarida ν ning ρ ga nisbati bilan ifodalanuvchi va kinematik Qovushqoqlik koeffitsiyenti deb ataluvchi miqdordan foydalanish qulaydir. Bu miqdor grekcha ν harfi bilan belgilanadi:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.13)$$

ν ning SI dagi birligi $\frac{m^2}{s}$, SGS sistemasida $\frac{sm^2}{s}$ yoki stoks (st) bilan ifodalanadi. Mahsus adabiyotlarda va texnik adabiyotda uning kichik o'lovchilari ham (santistoks - stt) uchraydi. $1 m^2/s = 10^4 st = 10^6 stt$.

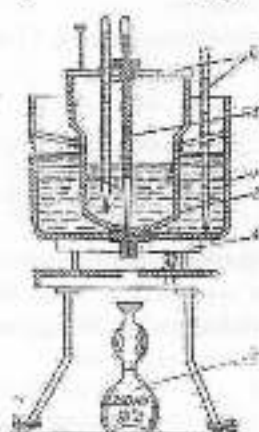
Qovushqoqlik koeffitsiyentini aniqlash uchun viskozimetr deb ataluvchi asbob qo'llaniladi. Suvga nisbatan yopishqoqligi katta bo'lgan suyuqliklar uchun Engler viskozimetri qo'llaniladi (1.2-rasm). U birining ichiga ikkinchisi joylashgan 1, 2 ikki idishdan iborat bo'lib, ular orasidagi bo'shliq, suv bilan, to'ldiriladi. Ichki idish 2 ning sferik tubiga diametri 3 mm li naycha kavsharlangan, u tiqin 5 hilan herkitilgan bo'ladi.

Ichki idishga tekshirilayotgan suyuqlik quyilib, uning temperaturasi ikki idish oralig'idagi suvni qizdirish yo'li bilan zarur bo'lgan temperaturagacha yetkaziladi. Tekshirilayotgan suyuqlik temperaturasi termometr 6 yordamida o'lab uriladi. Suyuqlik zarur temperatura t' gacha qizigandan so'ng tiqin ochiladi va sekundomer yordamida 200 sm³ suyuqlik 3 oqib chiqqan vaqt belgilanadi. Xuddi shunday tajriba t = 20°C da distillangan suv bilan ham o'tkaziladi. Tekshirilayotgan suyuqlikning t = 20°C dan oqib chiqqan vaqtlarining nisbati Qovushqoqlikning sharti graduslari yoki Engler graduslarini bildiradi:

$$E = \frac{T_{2000} - T_{20000}}{T_{20000} - T_{2000}}$$

Engler gradusidan m²/s ga o'tish uchun Ubbelode formulasi qo'llaniladi:

$$\nu = \left(0,0731 t^0 E - \frac{0,0631}{t^0 E} \right) \cdot 10^{-4} \quad (1.14)$$



1.2-rasm. Engler viskozimetri.

Qovushqoqlikni aniqlash uchun kapillyar viskozimetr, rotatsion viskozimetr, stoks viskozimetri va boshqa turli viskozimetrlar ham qo'llaniladi.

Qovushqoqlik suyuqliklarning turiga, temperaturasi va bosimiga bog'liq. Jadvallarda har xil suyuqliklarning qovushqoqlik miqdori keltirilgan. Temperatura ortishi bilan tomchilanuvchi suyuqliklarning qovushqoqliki kamayadi, gazlarning qovushqoqliki ortadi. Suyuqliklar qovushqoqligining temperaturaga bog'liqligini umumiy tenglama bilan ifodalab bo'lmaydi.

Har xil hisoblash ishlari bajarilganda, ko'pincha, quyidagi formulalardan foydalaniladi.

Havo uchun $\nu_t = (0,132 + 0,000918t + 0,00000066t^2) \cdot 10^{-4}$
 $m^2/s \quad (1.15)$
 Suv uchun

$$\nu_t = \frac{0,0177}{1 + 0,0337t + 0,00022t^2} \cdot 10^{-4} m^2/s \quad (1.15)$$

Gidroyuritmalarda qo'llanuvchi turli mineral moylar uchun temperatura 30°C dan 150°C gacha (°E 10 gacha) bo'lganda

$$\nu_t = \nu_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (1.16)$$

bu yerda ν_{50} – tegishli temperaturada va 50°C da kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti; t – temperatura, °C da; n – daraja ko'rsatkichi; uning miqdori quyidagi jadvalda $^\circ E$ ning turli miqdorlari uchun keltirilgan.

1.3-jadval

$^\circ E$	1,2	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	1,39	1,39	1,72	1,79	1,99	2,13	2,24	2,32	2,42	2,49	2,52	2,56

Turli suyuqliklarning qovushqoqligi boshlang'ich qovushqoqlik va temperaturasi qarama-qarshi o'zgaradi. Ko'pchilik suyuqliklarning qovushqoqligi bosim ko'tarilishi bilan ortadi. Mineral moylarning qovushqoqligi bosimning 0-50 MN/m² chegarasida taxminan chiziqli o'zgaradi va quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\nu_p = \nu_n (1 + k_p p), \quad (1.17)$$

bu yerda ν_p va ν_n – tegishli bosimda va atmosfera bosimida kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti; p – qovushqoqlik o'lgangan bosim, MN/m²; k_p – eksperimental koeffitsiyenti, uning miqdori gidroyuritmalarni hisoblashda yuqorida aytilgan chegarada 0,03 ga teng deb qabul qilinadi.

1.5. Sirt tarangligi (kapillyarlik)

Suyuqlik sirtidagi molekulalarning o'zaro tortishish kuchi ma'lum bir kuchlanish holatini vujudga keltiradi. Bu hodisa *sirt tarangligi* deb ataladi va kapillyar idishlarda egri mensh vujudga keltiradi. Sirt egriligi hotiq, yoki qavariq shaklda bo'ladi, bu shakl esa idish devori bilan suyuqlik molekulalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchiga bog'liq.

Sirt taranglik kuchi Laplas formulasi bilan ifodalanadi:

$$p = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.18)$$

bu yerda σ – sirt taranglik koeffitsiyenti; r_1, r_2 – bosh egrilik radiuslari.

O'xshash kapillyar idishlar uchun:

$$p = \frac{2\sigma}{r} \quad (1.19)$$

Suyuqliklar sirtining (ko'tarilish va pasayish) balandligi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$h = \frac{k}{d}, \text{ mm} \quad (1.20)$$

bu yerda d - idish diametri; k - o'zgarmas kattalik bo'lib, suv uchun +30, spirt uchun +10, simob uchun -10.

1.4-jadval. Ba'zi suyuqliklari uchun sirt taranglik koeffitsiyenti

Suyuqliklarning nomi	$\sigma \frac{N}{m}$
Suv	0,073
Spirt	0,0225
Benzin	0,029
Glitserin	0,065
Simob	0,490

Sirt taranglik kuchi aniq o'lchov ashoblarining kapillyar naychalurini, filtratsiyani hisoblash masalalarida va boshqa gidravlik hisoblashlarda kerak bo'ladi. Ko'pchilik gidravlik masalalarda esa uning qiymati juda kichik bo'lgani uchun hisobga olinmaydi.

1.6. Suyuqlik to'yingan bug'ining bosimi

Suyuqlikning berilgan temperaturada erkin bug'lanishi va uning bug'lari yopiq idishdagi bo'shliqni to'yinish holatigacha to'ldirish uchun kerak bo'lgan bosim suyuqlik to'yingan bug'ining bosimi deb ataladi.

Shunga asosan suyuqlik to'yingan bug'ining bosimi bug'ning yopiq idish ichida suyuqlik bilan muvozanatlashgan holatiga tegishli barqarorlashgan bosimdir. Bu bosim suyuqliklardan yuqori temperaturada foydalanish mumkinligini va ularning turli gidravlik qurilmalar, gidrosistemalardagi kavitatsiya xossasini aniqlash uchun foydalaniladi. Suyuqliklarning bug'lanishi sirt bo'yicha ham, uning butun hajmi bo'yicha bug' pufakchalari hosil bo'lishi (qaynashi) yo'li bilan ham yuz berishi mumkin. Bunda ikkinchi hol, xohlagan temperaturada yuz beradigan sirt bo'yicha bug'lanishdan farqli ravishda, faqat ma'lum temperaturada, ya'ni to'yingan bug' hosimi suyuqlik sirtidagi bosimga teng bo'ladigan temperaturada yuz beradi. Bosim ortishi bilan qaynash temperaturasi ortadi, kamayishi bilan esa kamayadi.

Bir jinsli suyuqliklarda to'yingan bug' bosimi har bir temperatura uchun bir xil miqdorga ega bo'ladi, suyuqlik va bug'ning miqdoriy nisbatiga bog'liq bo'lmaydi.

Suyuqlik aralashmalarida esa suyuqlik tarkibidagi turli molekullarning o'zaro ta'siri bug'lanishni qiyinlashtiradi. Bu holda aralashma bug'larida yengil bug'lanuvchi suyuqlik bug'larining nishati, uning ayrim holatidagi bug'lariga qaraganda ko'proq bo'ladi. Bu holda umumiy bug' bosimi partial bug' bosimlar yig'indisiga teng.

Shunday qilib, aralashmalar bug'langanda suyuq fazada yengil komponent kamayib boradi, ya'ni yengil komponent suyuq fazadagiga nisbatan bug' fazada ko'proq nisbatda bo'ladi.

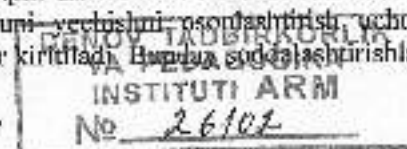
1.7. Gazlarning suyuqlikda erishi. Kavitatsiya hodisasi haqida tushuncha

Tabiatda va texnikada suyuqlik unda havoning tarkibidagi gazlar oz miqdorda erigan holda uchraydi. Bosim ortishi yoki temperatura kamayishi bilan erigan gazlar miqdori ortadi va aksincha, bosim kamayganda yoki temperatura ortganda ularning miqdori kamayadi. Shuning uchun bosim kamayishi yoki temperatura ortishi bilan suyuqlikdagi erigan gazlarning bir qismi ajralib chiqib, pufakchalar hosil qiladi, ya'ni yuqorida aytilganga ko'ra bosim kamayganda suv ham bug'lanadi lekin yengil komponent sifatida erigan gazlar tezroq ajralib chiqib, pufakchalar hosil qiladi. Boshqacha aytganda - bu holat suyuqlikdagi bosimning undagi gazning to'yingan bug'lari bosimiga teng bo'lganida vujudga keladi. Gaz pufakchalari paydo bo'lishi bilan suyuqlikning tutashligi buziladi va tutash muhitlarga taalluqli qonunlar o'z kuchini yo'qotadi. Bu hodisa kavitatsiya deyiladi. Pufakchalar suyuqlik ichida past temperaturali yoki yuqori bosimli sohalar tomonga qarab harakat qiladi. Agur u yetarli darajadagi bosimga ega bo'lgan sohaga kelib qolsa, yana erib ketadi (agar bug' bo'lsa, kondensatsiyalanadi). Erigan gaz o'rinda paydo bo'lgan bo'shliqqa suyuqlik zarrachalari intiladi va bo'shliq keskin yopiladi. Bu esa hozirgina bo'shliq bo'lgan yerda gidravlik zarbani vujudga keltiradi va natijada bu yerda bosim keskin ortib, temperatura keskin kamayadi.

Bunday gidravlik zarba va uni vujudga keltirgan kavitatsiya hodisasi quvur devorlari va mashinalarning suyuqlik harakat qiluvchi qismlarining buzilishiga olib keladi (kavitatsiyaga qarshi kurash usullari to'g'risida keyinchalik to'xtalamiz).

1.8. Ideal suyuqlik modeli

Suyuqliklarning harakati tekshirilganda, odatda, hamma kuchlarni hisobga olib bo'lmagani uchun, ularning suyuqlik muvozanati yoki harakati holatiga ta'siri katta bo'lganlarini saqlab qolib, ta'siri kichiklarini tashlab yuboramiz. Shu usul bilan suyuqliklar uchun ideal va real suyuqliklar modeli tuziladi. Hozirgi vaqtda suyuqlik harakatini ifodalovchi umumiy tenglamalar juda murakkab bo'lib, uni yechishni qiyinlashtirish uchun yuqorida aytilgandek soddalashtirishlar kiritiladi. Bunday soddalashtirishlar



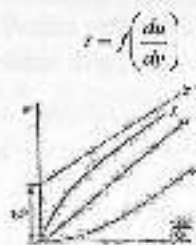
esa suyuqliklarning fizik xossalariga chegara qo'yadi va bu suyuqliklar ideal suyuqliklar deyiladi. Ideal suyuqliklar absolyut siqilmaydigan, issiqlikdan hajmi o'zgar olmaydigan, cho'zuvchi va siljituvchi kuchlarga qarshilik ko'rsatmaydigan abstrakt tushunchadagi suyuqliklardir.

Real suyuqliklarda esa yuqorida aytilgan xossalar mavjud bo'lib, odatda siqilishi, issiqlikdan kengayishi va hajm o'zgarishi juda kichik miqdorga ega. Shuning uchun bu soddalashtirishlar hisoblashda unchalik ko'p xato bermaydi. Ideal suyuqliklarning real suyuqliklardan katta farq qilishiga olib keladigan asosiy sabab, bu – siljituvchi kuchga qarshilik ko'rsatish xossasi, ya'ni ichki ishqalanish kuchi bo'lib, uning bu xususiyatini qovushqoqlik degan tushuncha orqali ifodalaniladi. Shunga asosan ideal suyuqliklarni noqovushqoq (nevyazkiy), real suyuqliklarni esa qovushqoq suyuqlik deyiladi.

1.9. Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar

Yuqorida aytilganidek, suyuqliklarga ta'sir qiluvchi qovushqoqlik zo'riqish kuchi tezlik gradiyentiga bog'liq bo'lib, Nyuton qonuni (1.14) bo'yicha bu bog'lanish chiziqli bo'ladi. Shuning uchun agar abstsissa o'qiga $\frac{du}{dy}$ ni, ordinata o'qiga τ ni qo'yib grafik chizsak, u holda bu grafikni ifodalovchi 1.4-rasmdagi 1 - chiziq (1.12) formulani ifodalaydi. Bu grafik bilan ifodalanuvchi, ya'ni Nyuton qonuniga bo'ysunuvchi suyuqliklar Nyuton suyuqliklari deyiladi.

Hozir suyuqliklarning xossalarini chuqurroq o'rganish va texnikada ishlatiladigan suyuqliklar turining ko'payishi natijasida Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan ko'pgina suyuqliklar mavjud ekanligi aniqlandi. Bunday suyuqliklarda qovushqoqlik zo'riqish kuchi τ umumiy holda tezlik gradiyenti $\frac{du}{dy}$ ning funksiyasi sifatida qoraladi:



1.3 - rasm. Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklarga doir chizma.

Ular Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar deb ataladi. Bu suyuqliklar quyidagi guruhlariga ajratiladi.

1. **Bingam suyuqliklari (plastik yopishqoq suyuqliklar).** Bu suyuqliklar kichik zo'riqishlarda o'zgina deformatsiyalanib, zo'riqish zo'riqsa, yana avvalgi holiga qaytadi. Zo'riqish kuchi τ biror to'liq qiymatdan oshsa, harakat boshlanadi. Bingam suyuqliklari xuddi Nyuton suyuqliklari kabi harakatlanadi. Bu suyuqliklar uchun Nyuton qonuni o'rinda quyidagi qonun qo'llaniladi.

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dy} \quad (1.21)$$

bu yerda η – struktura yopishqoqligi deb ataladi.

(1.21) formula bilan ifodalanuvchi qonun 1.3-rasmdagi 2-chiziqqa ega bo'ladi.

Quyuk suspenziyalar, pastalar, shlam va boshqalar plastik yopishqoq suyuqliklarga kiradi.

2. **Soxta plastik suyuqliklar.** Bular Nyuton suyuqliklari kabi zo'riqishning eng kichik qiymatlarida ham harakatga keladi. Lekin u tezlik gradiyenti ortishi bilan kamayib borib, sekin-asta o'zgarmas qiymatga intiladi (1.3-rasmda, 3-chiziq).

Uning grafifi logarifmik masshtabda to'g'ri chiziqqa yaqin bo'lganligi uchun ko'rsatkichli funksiya ko'rinishida ifodalanadi:

$$\tau = k \left(\frac{du}{dy} \right)^m \quad (1.22)$$

bu yerda k, m – tajribadan aniqlanuvchi o'zgarmas miqdorlardir (o'zgarmas m , odatda, 0 bilan 1 orasidagi qiymatlarni qabul qiladi). Bu suyuqliklarga siljituvchi zo'riqishning tezlik gradiyentiga nisbati μ_k o'xshash yopishqoqlik deb ataladi.

3. **Dilatant suyuqliklar** soxta plastik suyuqliklarga o'xshash bo'lib, ulardan tezlik gradiyenti ortganida μ_k o'sib borishi bilan farqlanadi (1.3-rasm, 4-chiziq), siljituvchi zo'riqish (1.23) formula bilan ifodalanadi. Dilatant suyuqliklarning soxta plastik suyuqliklardan farqi shundaki, ularda m doimo 1 dan katta bo'ladi. Dilatant suyuqliklar bingam va soxta plastik suyuqliklarga nisbatan kam uchraydi.

Bundan tashqari, τ va $\frac{du}{dy}$ o'rtasidagi bog'lanish vaqtga bog'liq bo'lgan suyuqliklar ham tabiatda uchraydi. Ularning yopishqoqlik koeffitsiyenti zo'riqishning qancha vaqt ta'sir qilganiga qarab o'zgarib boradi. Bunday suyuqliklarga ko'pgina bo'yoqlar, sul mahsulotlarining ko'p turlari, turli smolalar misol bo'ladi. Ular tiksotrop suyuqliklar.

reopktant suyuqliklar va maksvell suyuqliklari deb ataluvchi guruhlariga bo'linadi. Bu suyuqliklarning yana bir xususiyatlari shundan iboratki, ularning ba'zi turlari (maksvell suyuqliklari) qo'yilgan zo'riqish kuchi olinishi bilan avvalgi holatiga qisman qaytadi (ya'ni hozirgi zamon fanining tili bilan aytganda xotirlash xususiyatiga ega bo'ladi).

I bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Ichki ishqalanish kuchi deb qanday kuchga aytiladi?
2. Sirt taranglik kuchi qanday formula bilan ifodalanadi?
3. Ideal suyuqliklarning real suyuqliklardan katta farq qilishiga olib keluvchi sabab nima?
4. Suyuqliklardagi ishqalanish uchun Nyuton qonuni. Qovushqoqlik.
5. Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar.
6. Suv nima?

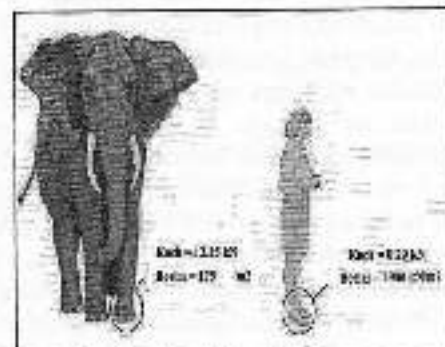
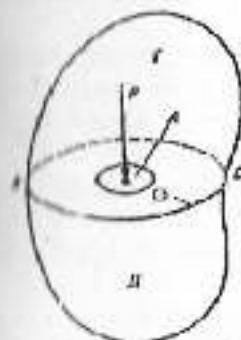
II BOB. GIDROSTATIKA

Gidrovlikaning suyuqliklar muvozanat qonunlarini o'rganib, ularni tushungani ta'biy qilish bilan shug'illanuvchi bo'limi gidrostatika deb yuritiladi. Bu qonunlarni tekshirish suyuqliklar orqali kuchlarni uzatish kabi bog'liq masalalarni hal qilishda muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari, gidrostatika suyuqliklarga to'liq yoki qisman botirilgan qattiq jismlarning muvozanat qonunlarini ham o'rganadi.

Odatda, suyuqliklar muvozanat holatda bo'lganda uning ayrim bo'laklarining boshqa bo'laklariga bo'lgan ta'siri, suyuqlik saqlanayotgan o'tish devorlariga va unga botirilgan jismga ta'siri bosim orqali ifodalanadi.

2.1. Suyuqliklarda bosim

Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi asosiy kuchlardan biri gidrostatik bosimdir. Uni tushuntirish uchun 2.1-rasmga murojaat qilamiz. Bu yerda muvozanat holatidagi suyuqlikning ixtiyoriy hajmi ifodalangan. Bu hajm ichida ixtiyoriy A nuqta olib, undan BC tekislikni o'tkazamiz. Natijada hajm ikki qismga ajraladi. BC sirtida A nuqta atrofida biror ω yuza ajratamiz. Hajmning I qismi orqali uning II qismiga BC yuza bo'yicha bosim kuchi beriladi.



2.1-rasm. Suyuqliklarda bosim tushunchasiga doir misollar.

Bu kuchning ω yuzaga ta'sir qilgan qismini P bilan belgilaymiz.

Qaralayotgan ω yuzaga ta'sir qiluvchi P kuch *gidrostatik bosim kuchi* yoki qisqacha *gidrostatik kuch* deyiladi. P kuch II qismga nisbatan tashqi kuch, butun hajmga nisbatan esa ichki kuch hisoblanadi. P kuchning ω

yuzaga nisbati bu yuzaning birlik miqdoriga ta'sir qiluvchi kuchi beradi va u o'rtacha gidrostatik bosim deb ataladi:

$$p_{sr} = \frac{P}{\omega}$$

Agar ω yuzani kichraytira borib, nuqtaga intilsak ($\omega \rightarrow 0$), p_{sr} biror chegaraviy qiymatga intiladi:

$$p = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{P}{\omega}$$

Bu qiymat A nuqtaga ta'sir qilayotgan bosimni beradi va u gidrostatik bosim deb ataladi. Umumiy holda gidrostatik bosim p bilan o'rtacha gidrostatik bosim p_{sr} teng emas. Ular bir-biridan kichik miqdorga farq qiladi.

Gidrostatik bosim N/m^2 bilan o'lchanadi.

2.2. Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari

Tinch turgan suyuqlikdagi bosim (ya'ni gidrostatik bosim) ikkita asosiy xossaga ega:

1 - x o s s a - *gidrostatik bosim u ta'sir qilayotgan yuzaga normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi.* Bu xossaning to'g'riligini isbotlash uchun gidrostatik bosim p o'zi ta'sir qilayotgan yuzaga normal bo'yicha yo'nalmagan deb faraz qilamiz. Bu holda p normal va urinma yo'nalishlarda proyeksiyalarga ega bo'ladi.

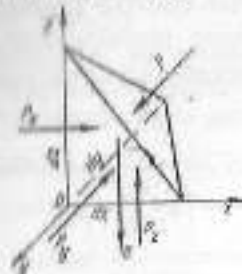
Urinma yo'nalishidagi proyeksiya I va II qismlarining bir-hiriga nisbatan siljishiga olib keladi (2.1-rasm). Suyuqlik muvozanatda bo'lgani uchun bu hol yuz berishi mumkin emas. Bundan p normal bo'yicha yo'nalmagan degan fikr noto'g'ri ekanligi kelib chiqadi.

2 - x o s s a - *gidrostatik bosim u ta'sir qilayotgan nuqtada hamma yo'nalishlar bo'yicha bir xil qiymatga ega.* Bu xossani isbotlash uchun suyuqlik ichida tomonlari dx , dy , dz ga teng bo'lgan tetraedr ajratib olamiz. Tetraedrning qiya yuzasiga P kuch ta'sir qilsin.

U holda yOz tekislikdagi yuza bo'yicha, P_x , xOz tekislikdagi yuza bo'yicha, P_y , xOy tekislikdagi yuza bo'yicha, esa P_z kuchlar ta'sir qiladi. Qiya yuzaning sirti $d\omega$ ga teng deb hisoblaymiz. Agar gidrostatik bosim Ox o'qi bilan α , Oy o'qi bilan β , Oz o'qi bilan γ burchak tashkil qilsa, u holda $d\omega$ yuzaga ta'sir qilayotgan kuch ($p d\omega$) ning o'qlardagi proyeksiyalari $p d\omega \cos \alpha$, $p d\omega \cos \beta$, $p d\omega \cos \gamma$ larga teng. Og'irlik kuchi esa

$$G = \rho g dV = \frac{1}{6} \rho g dx dy dz$$

gidrostatik muvozanatda bo'lgani uchun kuchlarning o'qlardagi proyeksiyalarining yig'indisi nolga teng, ya'ni Ox o'qi bo'yicha



2.1-rasm. Bosimlarning xossalariga doir chizma.

$$\frac{1}{2} p_x dy dz - p d\omega \cos \alpha = 0,$$

Oy o'qi bo'yicha

$$\frac{1}{2} p_y dx dz - p d\omega \cos \beta = 0,$$

Oz o'qi bo'yicha

$$\frac{1}{2} p_z dx dy - p d\omega \cos \gamma + \frac{1}{6} \rho g dx dy dz = 0,$$

$d\omega$ yuzaning proyeksiyalari quyidagilarga teng:

$$d\omega \cos \alpha = \frac{1}{2} dy dz, \quad d\omega \cos \beta = \frac{1}{2} dx dz, \quad d\omega \cos \gamma = \frac{1}{2} dx dy$$

Yuqoridagi tenglamalar qisqartirilgandan keyin quyidagicha yoziladi:

$$p_x - p = 0; \quad p_y - p = 0; \quad p_z - p - \frac{1}{3} \rho g dz = 0$$

Tetraedrning tomonlari cheksiz kichik qiymatga intilganda u nuqtaga yaqinlashadi. Bu holda uning hajmi nolga intiladi. Shuning uchun yuqorida keltirilgan tenglamalardan quyidagi natija kelib chiqadi:

$$p_x = p, \quad p_y = p; \quad p_z = p \quad \text{ya'ni} \quad p_x = p_y = p_z = p$$

Shunday qilib, barcha yo'nalishlarda ta'sir qiluvchi bosim kuchlari teng ekanligi isbotlandi. Bu esa ikkinchi xossaning to'g'riligini ko'rsatadi.

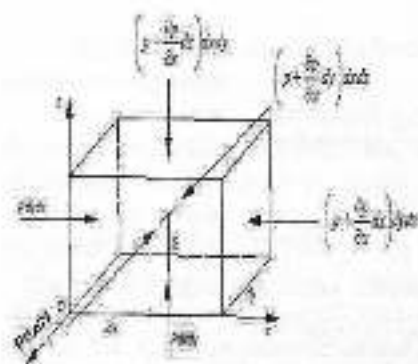
2.3. Muvozanatdagi suyuqlikning differensial tenglamasi (Eylar differensial tenglamasi)

Muvozanat holatidagi suyuqliklarga bosim va og'irlik kuchlari ta'sir qiladi. Bosim suyuqlik egallagan hajmning har xil nuqtasida har xil qiymatga ega. Shuning uchun bosimni koordinata o'qlari x , y , z larning

funksiyasi deb qarashi kerak. Ko'rilayotgan suyuqlikda tomonlari dx , dy , dz ga teng bo'lgan parallelepipedga teng elementar hajm ajratib olamiz (2.3-rasm). Endi suyuqlikka ta'sir qiluvchi kuchlarning muvozanat holatini tekshiramiz. Og'irlik kuchining proyeksiyalari $\rho x dV$, $\rho y dV$, $\rho z dV$ bo'lsin; ya'ni $G(\rho x dV, \rho y dV, \rho z dV)$. Elementar hajmning yOz tekislikda yotgan sirtiga Ox o'qi yo'nalishida p ga teng, unga parallel bo'lgan sirtga esa $p + \frac{\partial p}{\partial x}$ ga teng bosimlar ta'sir qiladi (2.3-rasm). Bu sirlarga ta'sir qiluvchi bosim kuchlari esa tegishli $p dy dz$ va $(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx) dy dz$ larga teng. Olingan elementar hajm Ox o'qi bo'yicha muvozanatda bo'lishi uchun bu o'q bo'yicha yo'nalgan kuchlar yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak:

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

Shuningdek, Oy o'qi bo'yicha, yOz tekislikda yotuvchi sirtga $p dx dz$,



2.3-rasm. Suyuqliklar muvozanatining (Eylar) tenglamasiga doir chizma.

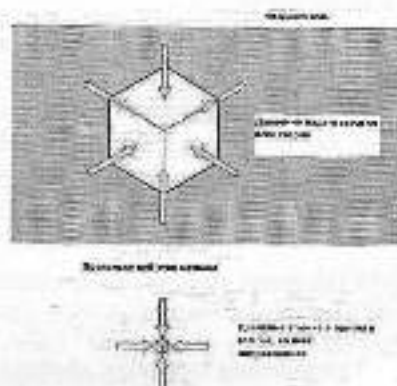
unga parallel bo'lgan sirtga esa, $(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy) dx dz$ kuchlar ta'sir qiladi.

Shuning uchun elementar hajmning Oy o'qi bo'yicha muvozanat sharti quyidagicha bo'ladi:

$$p dx dz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) dx dz + \rho y dy dx dz = 0 \quad (2.1)$$

Shuningdek, Oz o'qi bo'yicha

$$p dx dy \text{ va } \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy$$



kuchlar ta'sir qiladi hamda ularning muvozanat sharti quyidagicha bo'ladi:

$$p dx dy - \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx dy + \rho z dz dx dy = 0$$

Ushbu tenglamalarni qisqartirish va qolgan hadlarni dx , dy , dz ga bo'libdan keyin quyidagi tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial x} = \rho X \\ \frac{\partial p}{\partial y} = \rho Y \\ \frac{\partial p}{\partial z} = \rho Z \end{cases} \quad (2.2)$$

Bu tenglamalar sistemasidan ko'rinib turibdiki, gidrostatik bosimning birinchi koordinata o'qidagi o'zgarishi zichlikning birlik og'irlik kuchining shu o'q yo'nalishidagi proyeksiyasiga ko'paytmasiga teng ekan, ya'ni muvozanatdagi suyuqliklarda bosimning o'zgarishi massa kuchlarga bog'liq. (2.3) tenglamalar sistemasi suyuqliklar muvozanat holatining umumiy differensial tenglamasidir. Bu tenglama 1755 yil L. Eylar tomonidan taklif etilgan.

2.4. Bosimi teng sirtlar. Erkin sirt

Eylar tenglamalarini integrallash uchun uni qulay shaklga keltirishda (2.3) ning har bir tenglamasini mos ravishda dx , dy , dz larga o'zaro ko'paytiramiz va ularni hadma-had qo'shib chiqamiz:

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \rho(X dx + Y dy + Z dz)$$

Bu tenglamaning chap tomoni bosimning to'liq differensialini beradi, shuning uchun

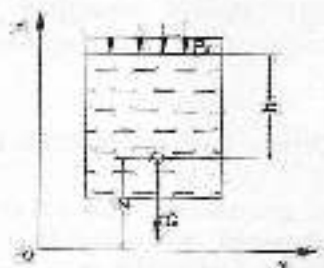
$$dp = \rho(X dx + Y dy + Z dz) \quad (2.3)$$

Hosil bo'lgan tenglama bosimning suyuqlik turiga va fazoning nuqtalari koordinatalariga bog'liqligini ko'rsatadi hamda bosimning ixtiyoriy nuqtadagi miqdorini topishga yordam beradi. Bu tenglama tushunchilovchi suyuqliklar uchun ham, gazlar uchun ham o'rinli bo'lib, gazlar uchun qo'llanganda gaz holati tenglamalari bilan birgalikda ishlatiladi. (2.3) dan hamma nuqtalarida bir xil bosimga ega bo'lgan ($p = const$) sirtlarni topish mumkin. Bunday tekisliklar bosimi teng sirtlar

deb ataladi. $p = \text{const}$ bo'lganda $dp = 0$ bo'ladi, p esa nurga teng bo'lishi mumkin emas. Shuning uchun bosimi teng sirtlar tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0 \quad (2.4)$$

Bosimi teng sirtlar xususi holda suyuqlikning erkin sirti bo'lishi mumkin. Suyuqlikning devor bilan chegaralanmagan sirti erkin sirt deyiladi. Masalan, idishda gaz va suyuqlik birga saqlangan bo'lsa, u holda suyuqlikning yuqori sirti jism devoriga tegmay gaz bilan chegaralangan bo'ladi. Xususi holda ochiq idishdagi suyuqlikning yuqori sirti havo bilan chegaralangan bo'lib, erkin sirti tashkil qiladi (2.4-rasm). Bosimi teng sirtlar va erkin sirtlar uchun misollar sifatida og'irlik kuchi ta'siridagi idishda tinch turgan, tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan va aylanma harakat qilayotgan idishlardagi suyuqliklarni tekshiramiz.



2.4-rasm. Idishda tinch turgan suyuqliklarda erkin sirtga doir chizma.

2.5. Eyler tenglamasining integrallari

Biz yuqorida Eyler tenglamasini (2.3) va (2.4) ko'rinishga keltirdik. Bu ko'rinishda uni integrallash va bosimi teng sirtlarni topish oson bo'ladi. Quyida Eyler tenglamasining integrallari sifatida uchta masalani keltiramiz.

a) Idishda tinch turgan suyuqlik (2.4-rasm).

Idishda tinch turgan suyuqlikka faqat og'irlik kuchi ta'sir qiladi. Bu holda birlik massa kuchlarining proyeksiyalari:

$$X=0, Y=0, Z=-g \quad (2.5)$$

bo'ladi. Bu qiymatlarni (2.4) ga qo'ysak, $gdz = 0$ ga ega bo'lamiz. Uni integrallab, $z = \text{const}$ bo'ladi. Bu esa gorizontal tekislikning tenglamasidir. Shunday qilib, tinch turgan suyuqliklar uchun har qanday gorizontal tekislik bosimi teng sirtlar iborat. Uning havo bilan chegaralangan sirti ham gorizontal bo'lib, u erkin sirt bo'ladi. Erkin sirtida bosim p_0 ekanligini hisobga olsak, (2.3) tenglamadan quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$p = p_0 + \rho_0$$

Bu tenglama to'g'risida keyinchalik alohida to'xtalib o'tamiz.

b) Tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan idishdagi suyuqlik

Suyuqlik a tezlanish bilan harakat qilayotgan idishda muvozanat holatida bo'ladi (2.5-rasm), bu holda suyuqlik zarralari tezlanish a va $-g$ ta'sirida bo'ladi, ular uchun birlik massa kuchlar esa quyidagicha bo'ladi:

$$X=-a, Y=0, Z=-g$$

Bu qiymatlarni (2.4) ga qo'ysak, $-adx - gdz = 0$ tenglamani olamiz. Uni integrallab quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

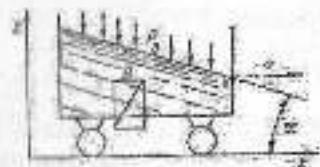
$$ax + gz = \text{const} \quad (2.6)$$

Bu esa qiya tekislik tenglamasidir. Shunday qilib, ko'rilayotgan holda bosimi teng sirtlar Ox va Oz o'qlariga burchak ostida yo'nalgan, Oy o'qiga esa parallel bo'lgan sirtlardir. Bu sirtlarning gorizontal tekislik bilan tashkil qilgan burchagi quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = \arctg \frac{a}{g}$$

Erkin sirtida bosim p_0 ekanligini hisobga olsak, (2.3) tenglamadan quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$p = \rho ax + \rho z + p_0 + C$$



2.5-rasm. Tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan idishdagi suyuqlik.

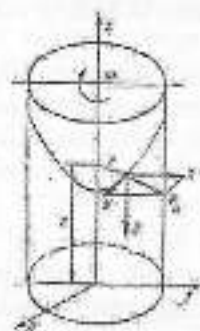
v) Aylanayotgan idishdagi suyuqlik.

Suyuqlik vertikal o'q atrofida ω burchak tezlik bilan aylanayotgan idish ichida muvozanat holatida bo'lsin (2.6-rasm). Bu holda suyuqlik zarralari markazdan qochma kuch va og'irlik kuchlari ta'sirida bo'ladi. Markazdan qochma kuch quyidagiga teng:

$$F_c = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$$

Uning proyeksiyalari esa quyidagicha topiladi:

$$F_{cx} = m\omega^2 x, \quad F_{cy} = m\omega^2 y$$



2.6-rasm. Aylanayotgan jism ichidagi suyuqlik.

Shuning uchun birlik massa kuchlar quyidagilarga teng:

$$X = \omega^2 x, \quad Y = \omega^2 y, \quad Z = -g$$

Bularni (2.4) ga qo'ysak, quyidagi tenglamani olamiz:

$$\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz = 0.$$

Uni integrallasak

$$\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - gz = \text{const}$$

bo'ladi.

Lekin $x^2 + y^2 = r^2$ bo'lgani uchun

$$\frac{\omega^2 r^2}{2} - gz = \text{const} \quad (2.7)$$

Bu bosimi teng sirtning tenglamasidir. Bu sirt aylanma paraboloid ekanligi ko'rinib turibdi. Shunday qilib, bosimi teng sirtlar o'qi vertikal bo'lgan aylanma paraboloidlar oilasidan iborat. Bu sirtlar vertikal tekislik bilan kesishganda o'qi Oz da bo'lgan parabolalar, gorizontall tekisliklar bilan kesishganda esa markazi Oz da bo'lgan konsentrik aylanalar hosil qiladi.

2.6. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi

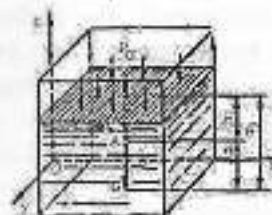
Tinch turgan idishdagi suyuqlikni qaraymiz. Bu suyuqlikka og'irlik kuchi ta'sir etadi. Koordinata o'qlarini Oz o'qi vertikal yuqoriga yo'naltirgan qilib yo'naltiramiz (2.7-rasm).

Har qanday tinch idish ichida biror xOy tekisligidan z masofada, erkin sirtidan esa h masofada joylashgan biror A nuqtani olamiz. U holda birlik massa kuchlarning bu koordinata sistemasidagi proyeksiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$X = 0; \quad Y = 0; \quad Z = -g$$

Gidrostatik bosim p, suyuqlikning erkin sirtidagi bosim p_0 bo'lsin, erkin sirt xOy tekisligidan esa z_0 masofada joylashgan bo'lsin. Bu holda gidrostatikaning asosiy tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$



2.7-rasm. Gidrostatikaning tenglamasiga doir chizma.

Birinchi va ikkinchi tenglamalardan bosimning x va y koordinatalarga bog'liq emas ekanligi kelib chiqadi. U holda uchinchi tenglamadan quyidagini olamiz:

$$dp = -\rho g dz$$

(Bu tenglamani (2.3) dan ham olish mumkin.) Bu esa yuqorida (1.14-§ da) aytilgandek tinch turgan idishlardagi suyuqlik bosimini gorizontall sirtlar bo'yicha o'zgarmas degan fikrni tasdiqlaydi. Oxirgi tenglamani erkin sirtidan z nuqtasigacha bo'lgan oraliq uchun integrallaymiz va quyidagi tenglamani chiqaramiz:

$$p - p_0 = -\rho g(z - z_0)$$

$z = z_0$ ning qiymati h ga teng bo'lgani uchun so'nggi tenglama quyidagicha yoziladi:

$$p = p_0 + \rho g h$$

yoki

$$p = p_0 + \rho g h \quad (2.8)$$

Bu gidrostatikaning asosiy tenglamasi deb ataladi va suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasidagi bosimni, suyuqlik turi va olingan nuqtaning erkin sirtidan qanday masofada ekanligiga qarab aniqlaydi. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi quyidagi qonuniyatni ifodalaydi: *suyuqlik ichidagi ixtiyoriy nuqtadagi bosim suyuqlik erkin sirtidagi bosim p_0 va shu nuqtadagi suyuqlik ustunining bosimi (ρ) yig'indisiga teng.*

2.7. Absolyut, manometrik, vakuummetrik va atmosfera bosimlari. Bosim o'lchov birliklari

Suyuqlik ichidagi ixtiyoriy nuqtadagi (gidrostatikaning asosiy tenglamasi yordamida aniqlanadigan) bosim p shu nuqtadagi *absolyut bosim* deb ataladi. Suyuqlikning erkin sirtidagi bosim p_0 erkin sirtidagi absolyut bosimni beradi, ρ esa suyuqlik ustunining nuqtadagi bosimini beradi. Usti yopilgan idishlardagi, suv sig'imlaridagi suyuqliklarning erkin sirtiga ta'sir qiluvchi bosim atmosfera bosimi deb ataladi va p_a harfi bilan belgilanadi. Bu holda (2.8) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$p = p_a + \rho h \quad (2.9)$$

Agar suyuqlik ixtiyoriy nuqtasidagi bosim atmosfera bosimidan katta ($p > p_a$) bo'lsa, (2.9) tenglamaning oxirgi hadi manometrik bosim deb ataladi:

$$p_m = p - p_a \quad (2.10)$$

Manometrik bosim absolyut bosimdan atmosfera bosimining chegirilgan (ayirilgan) miqdoriga teng bo'lgani uchun uni *chegirma bosim* deb ham atash mumkin.

Manometrik bosim absolyut bosimning miqdoriga qarab har xil qiymatga ega bo'lishi mumkin, masalan, $p = p_a$ bo'lganda $p_m = 0$; $p \rightarrow \infty$ bo'lganda $p_m \rightarrow \infty$, ya'ni manometrik bosim 0 bilan ∞ o'rtasidagi barcha qiymatlarini qabul qilishi mumkin.

Agar suyuqlik nuqtasidagi absolyut bosim atmosfera bosimidan kichik ($p < p_a$) bo'lsa, ularning ayirmasi vakuummetrik bosim (vakuum) p_v ga teng bo'ladi va suyuqlikdagi siyraklanish miqdorini belgilaydi:

$$p_v = p_a - p \quad (2.11)$$

Vakuummetrik bosim nuqtadagi bosimning atmosfera bosimidan qancha kamligini ko'rsatadi va $p = p_a$ da $p_v \rightarrow 0$; $p \rightarrow 0$ da $p_v \rightarrow p_a$ bo'ladi. Shunday qilib, vakuummetrik bosim 0 dan p_a gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi.

Bosimni o'lchash uchun texnikada turli birliklar ishlatiladi:

1. Kuch birliklarining yuza birliklariga nisbati, masalan,

$$N/m^2; kgK/m^2; kgK/sm^2.$$

2. Suyuqlik ustunining balandliklari, masalan, mm suv. ust. - millimetr suv ustuni; m suv. ust. - metr suv ustuni, mm sim. ust. - millimetr simob ustuni.

3. Ittlik yuziga to'g'ri kelgan berilgan kuch miqdoriga nisbati yoki bosimlik ushuning berilgan balandligi miqdorlari, masalan, texnik atmosfera (*atm*) ($1 atm = 1 kgK/sm^2 = 10^4 kgK/m^2 = 735,6 mm sim. ust.$) har $1 bar = 10^5 N/m^2$) va hokazo.

2.8. Bosim o'lchash asboblari

Bosim o'lchash asboblari ikki guruhga ajratiladi. Ular suyuqlik va gaz bosim asboblardir.

1. *Suyuqlik asboblari:*

a) *pezometrlar* - idishdagi bosim unga ulangan shisha naychada tekshirilayotgan suyuqlikning ko'tarilishiga qarab aniqlanadi (2.8-rasm). Idishdagi bosimning katta yoki kichikligiga qarab pezometr (shisha naycha) da suvning sathi h_0 balandlikka ko'tariladi. Tekshirilayotgan A nuqtadagi bosim p_A idishdagi erkin sathdagi bosim bilan undagi suv ustunining bosimi yig'indisiga teng. Pezometr orqali aniqlanganda u gidrostatikaning asosiy tenglamasi yordamida quyidagicha aniqlanadi:

$$p_A = p_0 + \rho(h - h_0) \quad (2.12)$$

U holda pezometrdagi suyuqlik erkin sathining balandligi bosim orqali quyidagicha ifodalanadi:

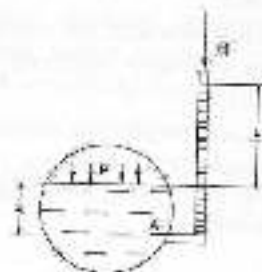
$$h - h_0 = \frac{p_A - p_0}{\rho}$$

va idishdagi chegirma bosimga to'g'ri keladigan suyuqlik ustunining balandligini ko'rsatadi. Bunday asboblarda 0,5 atm dan yuqori bo'lmagan kichik chegirma bosimlarni o'lchashda ishlatiladi. Haqiqatda ham 1 atm ga teng bo'lgan bosim 10 m suv ustunining balandligiga teng bo'lgani uchun yuqori bosimlarni o'lchashda juda uzun shisha naychalarda ishlatishga to'g'ri kelgan bo'lar edi.

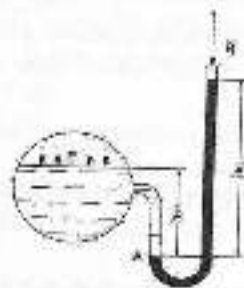
b) *Suyuqlik U-simon manometrlari* - bosim tekshirilayotgan suyuqlik to'liq simob, simob ustuni yordamida o'lchanadi (2.9-rasm). Bu holda simobli shisha naycha idishga U-simon naycha orqali ulanadi. Bunda simobning bosimi o'lchanayotgan idishga oqib o'tishiga U-simon

naychadagi qarshilik to'sqinlik qiladi. U holda A nuqtadagi bosim idish tomondagi qiymatlar orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$p_1 = p + \rho h_1$$



2.8- rasm. Pezometr.



2.9-rasm. U-simon manometr.

Simobli naychadagi qiymatlari orqali esa

$$p_1 = p + \gamma_m h_m$$

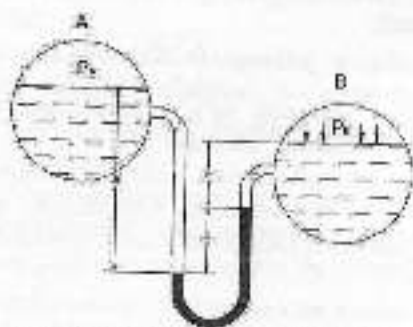
Bu ikki tenglikdan p ni topamiz:

$$p = p_1 + \gamma_m h_m - \rho h_1 \quad (2.13)$$

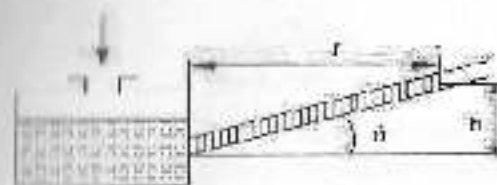
Bunday manometrlar ham bir necha atmosferadan ortiq bosimni o'lchashga yaramaydi.

v) **Differentsial manometrlar** - ikki idishdagi bosimlar farqini o'lchash uchun ishlatiladi (2.10- rasm). Bosimlarni p_A va p_B ga teng bo'lgan ikki idish simobli U-simon naycha orqali turashdirilgan. Bu holda C nuqtadagi bosim birinchi idishdan bosim orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$p_C = p_A + \gamma h$$



2.10-rasm. Differentsial manometr.



2.11- rasm. Mikromanometr.

ikkinchi idishdagi bosim orqali esa

$$p_2 = p + \gamma h_2 + \gamma_m h$$

U holda idishlardagi bosimlar farqi

$$p_2 - p_1 = \gamma(h_2 - h_1) + \gamma_m h \quad (2.14)$$

Ikki idishdagi suyuqliklar sathi teng bo'lganda esa $h_2 - h_1 = h$ va

$$p_2 - p_1 = (\gamma_m - \gamma)h \quad (2.15)$$

g) **Mikromanometrlar** - juda kichik bosimlarni o'lchash uchun ishlatiladi va suyuqlik sathining o'zgarishi sezilarli bo'lishi uchun suyuqlik to'ldirilgan idishga shisha naycha qiya burchak ostida ulanadi (2.11-rasm). U holda idishdagi chegirma bosim quyidagicha aniqlanadi: $p - \rho h$ bo'lgani uchun

$$p = \rho h \sin \alpha \quad (2.16)$$

shisha naychaning qiyalik burchagi α qancha kichik bo'lsa, bosim shuncha aniq o'lchanadi. Ko'p hollarda manometr shisha naychasining qiyalik burchagini o'zgaruvchan qilib ishlanadi. Bu holda mikromanometrlarning qo'llanish chegarasi kengayadi.

d) **Vakuummetrlar**. Tuzilishi xuddi suyuqlik U-simon manometrlariga o'xshash bo'lib, idishdagi siyraklanish darajasini aniqlaydi (2.12-rasm). Hidrostatik bosim tenglamasiga asosan

$$p + \gamma_m h_m = p_0$$

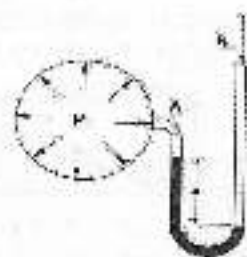
u holda

$$p = p_0 - \gamma_m h_m \quad (2.17)$$

simob ustunining pasayishi idishdagi bosim va p_0 orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$h_m = \frac{p_0 - p}{\gamma_m}$$

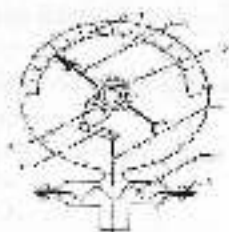
II. **Mexanik asboblari** (katta bosimlarni o'lchash uchun ishlatiladi va ularning uchun turli mexanik sistemalardan foydalaniladi):



2.12-rasm. Vakuummetr



2.13-rasm. Prujinali manometr.



2.14-rasm. Membranali manometr.

a) *Prujinali manometr* (2.13-rasm) ishi bo'sh yupqa egik latun 1 naychadan iborat bo'lib, uning bir uchi kavsharlangan. Shu uchi zanjir 2 bilan tishli uzatma 3 ga ilashtirilgan bo'ladi.

Ikkinchi uchi esa bosimi o'lchanishi zarur bo'lgan idishga bo'yin 4 orqali tutashiriladi. Egik latun naycha havo bosimi ta'sirida to'g'rilanishga harakat qilib, tishli uzatma yordamida strelkaning burilishiga sabab bo'ladi. Bunday manometrlarda bosimni ko'rsatuvchi shkala bor.

b) *Membranali manometr* (2.14-rasm) - yupqa metall plastinka yoki rezina shindirilgan materialdan tayyorlangan plastinkaga ega bo'lib, u membrana deyiladi. Suyuqlik bosimi idish bilan tutashiruvchi bo'yincha orqali o'tib, membranani egadi. Bu egilish natijasida richaglar sistemasi orqali strelka harakatga keladi va shkala bo'yicha surilib, bosimni ko'rsatadi.

2.9. Paskal qonuni

Suyuqlik solingan va og'zi porshen bilan yopilgan biror idish olamiz. Suyuqlik erkin sirtidagi bosim p_0 bo'lsin. U holda ixtiyoriy A nuqtadagi absolyut bosim quyidagicha teng bo'ladi:

$$p_A = p_0 + \rho h_A$$

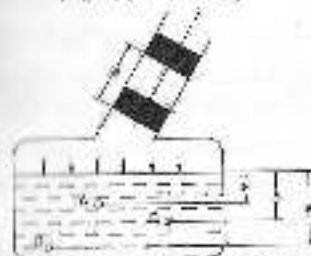
U holda:

$$p_B = p_A + \rho h_B$$

$$p_C = p_A + \rho h_C$$

Agar porshenni A masofaga (2.15-rasm) siljitsak, u holda suyuqlik sirtidagi bosim p_0 ga o'zgaradi. Suyuqlikning solishtirma og'irligi birinchi o'zgarishi bilan deyarli o'zgarmaydi. Shuning uchun A, B va C nuqtalardagi bosim quyidagicha bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} p'_A &= p_0 + \Delta p + \rho h_A \\ p'_B &= p_0 + \Delta p + \rho h_B \\ p'_C &= p_0 + \Delta p + \rho h_C \end{aligned} \right\}$$



2.15-rasm. Paskal qonunini tushuntirishga doir chizma.

Bu holda bosimning o'zgarishi hamma nuqtalar uchun bir xil bo'ladi, ya'ni

$$\left. \begin{aligned} p'_A - p_A &= \Delta p \\ p'_B - p_B &= \Delta p \\ p'_C - p_C &= \Delta p \end{aligned} \right\}$$

Bundan quyidagicha xulosa kelib chiqadi: *yopiq idishdagi suyuqlikka har qanday berilgan bosim suyuqlikning hamma nuqtalariga bir xil miqdorda (o'zgarishsiz) tarqaladi.* Bu Paskal qonuni sifatida ma'lum. Ko'pgina gidromashinalarning tuzilishi ana shu qonunga asoslangan (masalan, gidroress, domkratlar, gidroakkumulyatorlar, hajmiy gidroyuritma va hokazo).

Amaliy mashg'ulotlarini bajarishga doir ko'rsatma:

1-masala. Benzin bilan to'ldirilgan bak, quyoshda 50°C gacha harorati ko'tariladi. Agar bak absolyut qattiq deb qaralsa benzinning bosimi qanchaga o'zgaradi? Benzinning boshlang'ich harorati 20°C , hajmiy egilish koeffitsiyenti

$$\beta_p = \frac{1}{1300} \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{s}};$$

issiqlikdan kengayish harorat koeffitsiyenti.

$$\beta_T = 8 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ \text{C}}$$

Yechim:

Siqilish va haroratdan kengayish formulalaridan foydalanib quyidagilarni yozamiz:

$$\beta_p = \frac{W_1}{W} \cdot \frac{1}{t_1} \rightarrow \frac{W_1}{W} = \beta_p \cdot t_1$$

$$\beta_T = \frac{W_2}{W} \cdot \frac{1}{t_2} \rightarrow \frac{W_2}{W} = \beta_T \cdot t_2$$

Tenglamaning o'ng tomonlarini tenglashtirib, o'zgargan bosim miqdorini aniqlaymiz:

$$\beta_p \cdot P_1 = \beta_T \cdot P_2$$

$$P_1 = \frac{\beta_T}{\beta_p} \cdot t_2 = 312 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

2- masala. Sisterna suyuqlik bilan to'ldirilgan. Agar sistema $x=3t^2+2t$ tenglama bilan harakatlanayotgan bo'lsa, $t=20$ sekunddan keyin oqim sathining gorizont bilan tashkil etgan burchakni aniqlang.

Yechish:

1. Sathining gorizont bilan tashkil etgan burchakni quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\alpha = \arctg \frac{a}{g}$$

2. Sistemaning tezlanishini aniqlaymiz. Buning uchun yo'ldan harakat tenglamasidan ikkinchi tartibli hosila olish kerak.

$$a = (x)'' = (3t^2 + 2t)'' = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Yuqoridagi formulaga olib borsak, burchak quyidagiga teng bo'ladi:

$$\alpha = \arctg \frac{a}{g} = \arctg \frac{6}{9.81} \approx 31^\circ$$

3- masala. Diametri $D=2,0$ m ga teng bo'lgan silindrsimon bakka $H=1,5$ m gacha suv va benzin quyilgan. Pezometrdagi suv sathi benzin sathidan $h=300$ mm past. Bakdagi benzin og'irligini aniqlang, benzin zichligi $\rho_b=700 \text{ kg/m}^3$

Yechimi:

1. Gidrostatikaaning asosiy tenglamasiga asosan A nuqtadagi bosim

$$P_A = P_0 + \rho_s h_1 + \rho_b h_2$$

$$P_A = P_0 + \rho g(H-h)$$

Tenglamaning o'ng tomonlarini tenglashtirib, h ni aniqlaymiz:

$$\rho_b g h_1 + \rho g h_2 = \rho g(H-h)$$

Yig'indini,

$$h_1 + h_2 = H; \quad h_2 = H - h_1$$

o'rinlash

$$h_1(\rho_b g - \rho g) = \rho g h$$

$$h = \frac{\rho_b g h_1}{\rho g - \rho_b g} = \frac{\rho_b h_1}{\rho - \rho_b} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.3 \text{ m}}{1000 \text{ kg/m}^3 - 700 \text{ kg/m}^3} = 1.0 \text{ m}$$

1. Bakdagi benzin og'irligi:

$$G = \rho_b g W = \rho_b g \frac{\pi d^2}{4} \cdot h = 22 \text{ kN}$$

4- masala. Agar simobli asbobning ko'rsatishi $h=363$ mm, balandligi $h=1,0$ m bo'lsa idishdagi havoning absolyut bosimini aniqlash kerak. Simobning zichligi $\rho_s=13600 \text{ kg/m}^3$. Atmosfera bosimi 736 mm simob ustuniga teng.

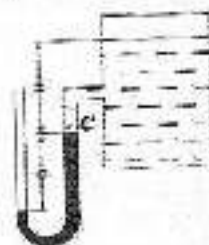
Yechim:

1. (1.2) formuladan C nuqtadagi bosim

$$P_C = P_0 + \rho_s g h$$

2. Suyuqlik sathidagi bosim

$$P_0 = P_C - \rho g H = P_0 + \rho_s g h - \rho g H = 39952 \text{ kN/m}^2 \approx 40 \text{ kPa}$$



2.16-rasm.

5- masala. Agar $h=1,7$ m balandlikda qo'yilgan vakuumrueurning ko'rsatgichi $P_v=0,12$ mPa bo'lib, atmosfera bosimi $h_a=740$ mm simob ustuniga va benzin zichligi $\rho_b=700 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa, $H=5$ m chuqurtikka o'rnatilgan rezervuardagi absolyut bosimni aniqlang.



2.17-rasm.

Yechimi:

1. Ma'lumki, vakuummetr vakuummetrik bosimni o'lchaydi, u holda absolyut bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$p_A = p_0 - p_v$$

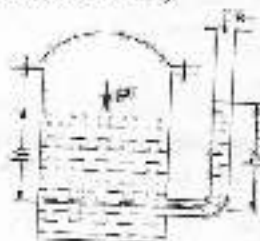
$$p_A = p_0 - p_v = 0,8 \text{ at} = 0,08 \text{ MPa}$$

2. C' nuqtadagi absolyut bosimni quyidagi formula yordamida hisoblaymiz:

$$p_C = p_A + \rho g(H + h) = 1,26 \text{ at.}$$

Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Idish tubidagi to'la gidrostatik bosimni toping. Idishning usti ochiq bo'lib, uning erkin sirtidagi bosim atmosfera bosimiga teng. Aniqlangan gidrostatik bosimni har xil birliklarida ifodalang (1-jadvaldan foydalanib).
2. Yopiq idishga o'rnatilgan pezometrdagi suyuqlik sathini h_p toping. Suv sathidagi absolyut bosim: $p = 1,06 \text{ at}$; $h_1 = 60 \text{ sm}$; $p_0 = 760 \text{ mm}$ simob ustuniga teng. (2.21-rasm).



2.18-rasm.



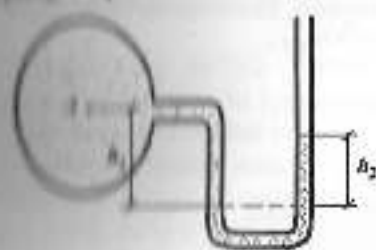
2.19-rasm.

1. Idishdagi suv sathidagi bosimni aniqlang. Pezometrdagi suyuqlik balandligi $h_2 = 70 \text{ sm}$, $h_1 = 40 \text{ sm}$, $p_0 = 100 \text{ kPa}$ (2.18-rasm).

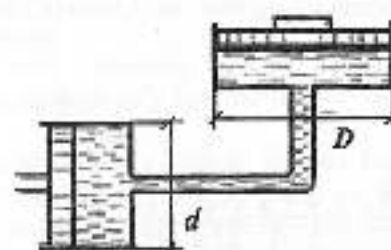
2. U - shaklidagi idishga benzin va suv quyilgan. Agar $h_1 = 70 \text{ sm}$; $h_2 = 80 \text{ sm}$ bo'lsa, benzin zichligini aniqlang (2.19-rasm).

3. A quvurdagi suvning manometrik bosimini toping. Pezometrdagi suv ustun balandligi $h_2 = 25 \text{ sm}$ va $h_1 = 40 \text{ sm}$. (2.20-rasm).

4. Agar katta porshenga qo'yilgan kuch $F_2 = 50 \text{ kN}$, kichik porshenga qo'yilgan kuch $F_1 = 20 \text{ kN}$ bo'lsa, tizim muvozanatda bo'lishi uchun h ni toping. Haylar suv bilan to'ldirilgan (2.21-rasm).



2.20-rasm.



2.21-rasm.

2.10. Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim kuchi

- a) Suyuqlikning tekis sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchi

Istiqbolli qiya tekislikka bo'lgan bosim kuchini aniqlash kerak bo'ladi. Bunday holda shittarga ta'sir qiluvchi kuchlarni aniqlash xuddi shunday masalaga olib keladi. Shittlardagi gidrostatik bosim kuchini hisoblash uchun quyidagi masalani ko'ramiz. Suyuqlik bilan to'ldirilgan idish olaylik. Uning pastki qismi bilan α burchak tashkil etgan qiya sirtida ω yuzaga tushadigan bosim kuchini aniqlaymiz. Oy o'qini qiya sirt yo'nalishi bo'yicha, Ox o'qini esa unga tik yo'nalishda deb qabul qilamiz (2.22-rasm). Bu holda ω sirtidagi kichik $d\omega$ sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$dP = d\omega(\gamma h + p_0). \quad (2.18)$$

Bu yerda γh - suyuqlik ustunining bosimi; p_0 - erkin sirtidagi bosim. U holda ω yuzaga ta'sir qilayotgan to'la bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$P_\omega = \int_{(\omega)} \gamma h d\omega + \int_{(\omega)} p_0 d\omega = \gamma \int_{(\omega)} h d\omega + p_0 \int_{(\omega)} d\omega.$$

agar
 $h = y \sin \alpha$

ekanligini hisobga olsak:

$$P_{\omega} = y \sin \alpha \int_{(\omega)} y d\omega + p_0 \int_{(\omega)} d\omega, \quad (2.19)$$

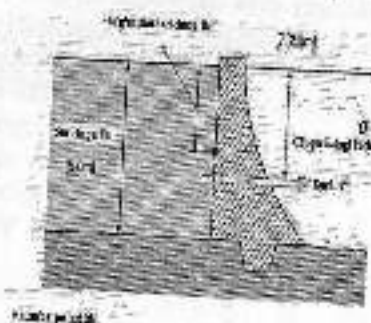
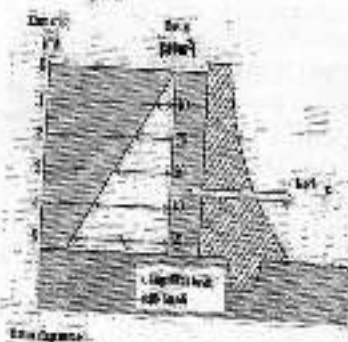
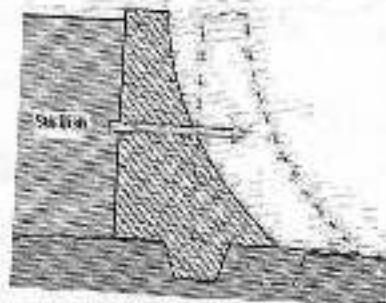
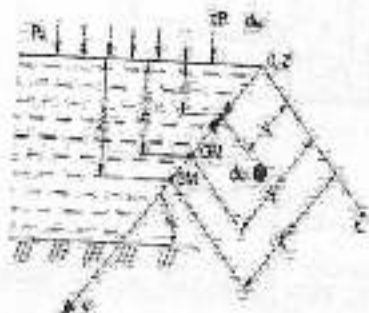
bu yerda $\int_{(\omega)} y d\omega$ — sirtning Ox o'qiga nisbatan statik momenti.

Statik moment haqidagi tushunchaga asosan

$$\int_{(\omega)} y d\omega = \omega y_{O.M.},$$

bu yerda y — og'irlik markazining koordinatasi. Rasmdan ko'rinish turibdiki,
 $y_{O.M.} \sin \alpha = h_{O.M.}$,
 demak,

$$P_{\omega} = \omega (y_{O.M.} \sin \alpha + p_0). \quad (2.20)$$



2.22-rasm. Tekis sirtga tushadigan bosimni hisoblashga doir chizma.
 (Mehyon Kay, *Practical Hydraulics* (Taylor & Francis 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN) 2008-253 pages)

bu sirtga tushadigan kuchini atmosfera bosimi va chegirma bosimidan iborat

$$P_{\omega} = P_v + P_a$$

bu yerda chegirma bosim kuchi quyidagiga teng:

$$P_v = \rho h_{O.M.} \omega \quad (2.21)$$

Demak, qiz yuzaga tushadigan bosim kuchi shu yuza sirti bilan uying og'irlik markaziga ta'sir qiluvchi bosimning ko'paytmasiga teng bo'lib, chegirma bosim kuchi

$$P_a = p_0 \omega$$

va chegirma bosim kuchi

$$P_v = \rho h_{O.M.} \omega$$

birgalikda teng bo'ladi. Birinchi kuch yuzaning og'irlik markaziga ta'sir qiladi bo'lib, ikkinchi kuch undan pastroqqa qo'yilgan bo'ladi.

3. Bosim markazini topish

Chegirma bosim teng ta'sir etuvchisining qo'yilish nuqtasi bosim markazi deb ataladi. Bu nuqtani topish shillarning o'lchamlarini aniqlash uchun kerak bo'ladi. Shuning uchun bosim markazi koordinatasini topish zarur. 2.22-rasmdan bosim markazining koordinatasi $y_{C.M.}$ ga teng deb hisoblab, ω sirtga ta'sir qilayotgan momentni aniqlaymiz:

$$P y_C = \int_{(\omega)} dPy = \int_{(\omega)} \rho h dy \omega \quad (2.22)$$

Rasmdan

$$h_{O.M.} = y_{O.M.} \sin \alpha, \quad h = y \sin \alpha$$

ekanligi ko'rinish turibdiki. U holda (2.22) munosabatdan quyidagi kelib chiqadi:

$$\omega y_{O.M.} y_{C.M.} = \int_{(\omega)} y^2 d\omega = I_x \quad (2.23)$$

bu yerda $I_x = \int_{(\omega)} y^2 d\omega$ — ko'rilayotgan sirtning Ox o'qqa nisbatan inertsia momenti.

U holda (2.23) dan bosim markazini topamiz:

$$y_{C.M.} = \frac{I_x}{\omega y_{O.M.}} \quad (2.24)$$

Inertsia momentini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I_A = I_{o.m.} + \omega y_{o.m.}^2 \quad (2.25)$$

bu yerda $I_{o.m.}$ – ko'rilayotgan yuzaning uning og'irlik markazidan o'tiruvchi o'qqa nisbatan inertsiya momenti.

U holda (2.25) ni (2.24) ga qo'yib, bosim markazini quyidagicha topamiz:

$$y_{o.m.} = y_{cm} + \frac{I_{o.m.}}{\omega y_{cm}} \quad (2.26)$$

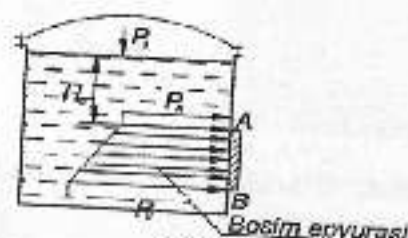
Bu tenglamadan ko'rinadiki, bosim markazi ko'rilayotgan qiya sirt og'irlik markazidan $\frac{I_{o.m.}}{\omega y_{cm}}$ miqdorda pastda joylashgan bo'lib, sirt gorizonttal bo'lgan xususiy holdagina bu farq 0 ga teng, (ya'ni, og'irlik markazi bilan bosim markaziusuma-ust tushadi).

2.11. Grafoanalitik usul

Bu usulni yuqoridagi masala asosida tushuntiramiz:

1. Masshtab bilan bosim epyurasini (2.23-rasm) chizamiz. A nuqtadagi bosim;

$$P_A = P_0 + \rho g h_A$$



2.23-rasm.

B nuqtadagi bosim

$$P_B = P_0 + \rho g (h_B + \omega)$$

2. Hidrostatik bosim kuchi bosim epyurasining hajmiga teng:

$$P = W_{b.e.} = \omega_{b.e.} \cdot b$$

Bu yerda: $\omega_{b.e.}$ – bosim epyurasining yuzasi, bizning misolda quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega_{b.e.} = \left(\frac{P_A + P_B}{2} \right)$$

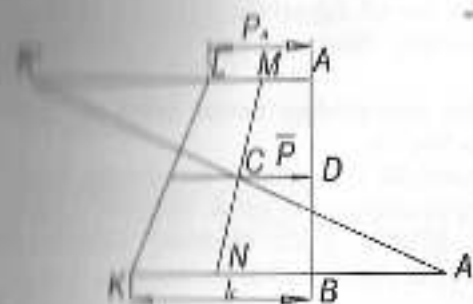
u holda gidrostatik bosim kuchi

$$P = \left(\frac{P_A + P_B}{2} \right) \cdot a \cdot b = \left(\frac{190.5 \cdot 10^3 + 198.9 \cdot 10^3}{2} \right) \cdot 1.2 \cdot 1 = 233 \text{ kN}$$

1.1 Bosim markazini aniqlash

Grafik usulda bosim markazini aniqlashda bir qulaylik bor.

1.1.1. Hidrostatik bosim kuchi bosim epyurasining og'irlik markazidan o'tiruvchi o'qqa nisbatan inertsiya momenti. Biz ko'rayotgan misolda nazariy mexanika usulidan foydalanib, bosim epyurasining og'irlik markazini aniqlaymiz. Yuqorida ko'rilgan misolda bosim epyurasi trapetsiya shaklida edi. Trapetsiyaning og'irlik markazini quyidagicha aniqlash.



2.24-rasm

1. Masshtab bilan bosim epyurasi chiziladi (2.24-rasm).

2. BK – kesmasini olib, AL – kesmasini to'ldiramiz. AL – kesmasini olib, BK – kesmasini to'ldiramiz. Natijada AK' va KA' kesmalarini hosil qilamiz.

3. A' va K' nuqtalarni tutashtiramiz.

4. AL – kesmasining o'rtasi

M nuqtani BK – kesmaning o'rtasi N – nuqtani aniqlab, bu nuqtalarni tutashtiramiz.

A'K' va MN – chiziqlarning kesishgan nuqtasi – C bosim epyurasining og'irlik markazi bo'ladi. Hidrostatik bosim kuchi C nuqtadan o'tib AB tomon bilan D nuqtada kesishadi, ya'ni D nuqta bosim markazi bo'ladi.

2.12. Hidrostatik g'ayritabiiylik (paradoks)

Hiror idishdagi suyuqlikning chuqurligi h bo'lsin, u holda ixtiyoriy nuqtadagi bosim uning suyuqlik ichida qancha chuqurlikda bo'lganiga bog'liq bo'ladi. A, B, C nuqtalardagi bosimlar quyidagilarga teng:

$$P_A = \rho h_A; \quad P_B = \rho h_B; \quad P_C = \rho h_C.$$

Suyuqlik tubidagi bosim kuchi esa

$$P = \gamma h_0$$

ga teng. Demak, suyuqlik tubidagi bosim kuchi suyuqlikning og'irligiga teng bo'lar ekan.

2.25-rasmda har xil shakldagi idishlar tasvirlangan va barcha idishlardagi suyuqlikning chuqurligi h ga, idish tubining sirti esa ω ga teng.

Bu holda idish tubiga bo'lgan bosim kuchi idishlarda

$$P_a = \gamma h_0; P_b = \gamma h_0; P_c = \gamma h_0; P_d = \gamma h_0 \quad (2.27)$$

ya'ni, barcha idishlarda suyuqlik tubiga bo'lgan bosim kuchi idishning shakli va bosim hosil qilgan suyuqlikning miqdoridan qat'i nazar quyidagiga teng bo'ladi:

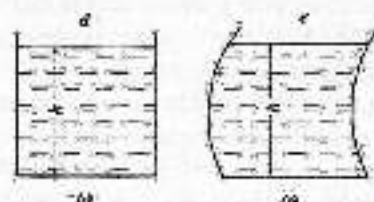
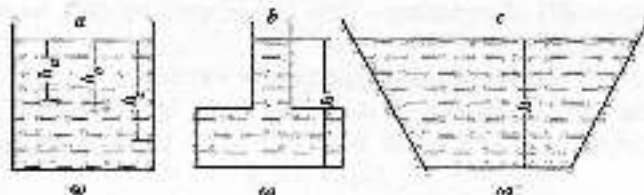
$$P = \gamma h_0$$

Qanday qilib hajmi va og'irligi har xil suyuqliklarning idish tubidagi bosimi bir xil? Bu yerda fizikaning biror qonuni noto'g'ri talqin qilinayotgani yo'qmi?

Gidravlika qonunlari bo'yicha suyuqlikdagi bosim uning shakliga bog'liq bo'lmay, uning chuqurligiga bog'liq.

Bu hodisa gidrostatik g'ayritabiiylik deb ataladi. Bu savolga javob olish uchun Paskal qonunini chuqurroq talqin qilish kerak. Masalan, 2.24, b va 2.24, c-rasmlarni tekshirsak, birinchi holda idishning yuqoridagi devorlarida bosim yuqoriga yo'nalgan bo'lib, reaksiya kuchlari pastga yo'nalgan, 2.24, c da esa aksincha.

Ana shu hodisalar gidrostatik g'ayritabiiylikning mohiyatini ochib beradi.



1.18-rasm. Gidrostatik paradoksga doir chizma

1.18-rasm. Gidrostatik paradoksga doir ko'rsatma:

1. Masala. Rezervuar qopqog'iga ta'sir etayotgan GBK ni va bosim kuchini quyidagi holatlarda aniqlang.

1.18-rasm. D = 1 m. Manometr ko'rsatgichi $P_m = 0.08 \text{ MPa}$ $H_0 = 1.5 \text{ m}$.

Berilgan

$$H_0 = 1.5 \text{ m}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$P_m = 80 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$



1.18-rasm

Yechish:

Birinchi holat uchun.

1) Qopqoqning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_0 = P_m + \gamma \cdot h_0 = P_m + \gamma \cdot \left(H_0 + \frac{D}{2} \right) = 80 + 10 \cdot \left(1.5 + \frac{1}{2} \right) = 80 + 10 \cdot 2 = 100 \text{ kN/m}^2$$

2) Qopqoq yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0.785 \cdot 1^2 = 0.785 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz

$$F = P_0 \cdot \omega = 100 \cdot 0.785 = 78.5 \text{ kN}$$

2. Qopqoq o'lchamlari $a = 1.0 \text{ m}$; $b = 1.2 \text{ m}$; suyuqlik zichligi $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$ va rezervuarga o'rnatilgan manometring ko'rsatishi $P_m = 0.08 \text{ MPa}$; $H_0 = 1.5 \text{ m}$.

Yechish:

1. Tekis shakl og'irlik markaziga qo'yilgan bosimni aniqlaymiz:

Formuladan ixtiyoriy nuqtadagi bosim:

$$P_c = P_0 + \rho g h_c$$

bu yerda: p_0 – tushqi bosim, $p_0 = p_a + p_u$

U holda

$$p_c = p_a + p_u + \rho g \left(H_0 + \frac{a}{2} \right)$$

2. Tekis shakl yuzasini aniqlaymiz:

$$\omega = ba$$

3. Hidrostatik bosim kuchini aniqlaymiz:

$$P = p_c \omega = \left[p_a + p_u + \rho g \left(H_0 + \frac{a}{2} \right) \right] ab$$

Berilgan qiymatlarni qo'yib, gidrostatik bosim kuchini hisoblaymiz:

$$P = p_c \omega = \left[0.08 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} + 10^5 \frac{N}{m^2} + 700 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} (1.5m + 0.5m) \right] \cdot 1.2m = 232800N \approx 233kN$$

4. Bosim markazini aniqlaymiz:

$$h_d = h_c + \frac{J_0}{h_c \omega}$$

Bu yerda:

$$h_c = H_0 + \frac{a}{2}; \omega = ab; J_0 = \frac{ba^3}{12}$$

u holda, berilgan qiymatlarni qo'yib h_D ni aniqlaymiz:

$$h_d = \left(H_0 + \frac{a}{2} \right) + \frac{\frac{ba^3}{12}}{(H_0 + \frac{a}{2}) ab} = 2 + \frac{1}{24} = 2.06m$$

Endi bosim markazini aniqlashni boshqa hollarda ham ko'ramiz.

3. Yuqoridagi masalada idish devori burchak ostida joylashgan bo'lsa z_d ni aniqlaymiz:

bu yerda: $H_0 = 1.5$

$$a = 1.4m$$

$$b = 1.2m$$

$\alpha = 60^\circ$ bo'lib, bosim markazini aniqlash kerak bo'lsin:

$$z_d = z_c + \frac{J_0}{z_c \omega}$$

u holda

$$h_d = z_d \sin \alpha = 2.17m$$

Bunday hollarda bosim markazini aniqlashning bir qulay usuli bor (Mazkur usul mualliflar tomonidan taklif qilingan). Burchak ostida joylashgan tekis shakl vertikal tekislikka proyeksiyalanib, bosim markazi (2.37) formula bilan hisoblanadi:

$$J_0 = \frac{b^3 a^3}{12}$$

bu yerda: J_0 – tekis shakl proyeksiyasining inertsia momenti;
 ω' – tekis shaklning vertikal tekislikka proyeksiyasi.

U holda

$$h_D = 2.17m$$

4. Masala. O'lchamlari $L=2.5$; $B=10m$ bo'lgan darvoza (zatvor) chuqurligi $H=2.3m$ bo'lgan suvni to'sib turibdi.

Aniqlashni:

1) Fovvada kuchlanish (zatvor og'irligi hisobga olinmasin)
2) darvozadagi reyaksiya kuchi R.

Berilgan:

$$L = 2.5m$$

$$B = 10m$$

$$H = 2.3m$$

$$\gamma = 10kN/m^3$$

$$T = ? \quad R = ?$$

Yechish:

1) Zatvorning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_0 = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{H}{2} = 10 \cdot \frac{2.3}{2} = 10 \cdot 1.15 = 11.5 \frac{kN}{m^2}$$

2) Yuzani aniqlaymiz.

$$\omega = L \cdot B = 2.5 \cdot 10 = 25 m^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P = p_0 \cdot \omega = 11.5 \cdot 25 = 287.5 kN$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz

$$h_d = h_c + \frac{J_0}{h_c \omega}$$

$$h_c = \frac{H}{2} = \frac{2.3}{2} = 1.15m$$

$$\omega = 25 m^2$$

$$J_0 = \frac{B \cdot L^3}{12} = \frac{10 \cdot 2.5^3}{12} = 13$$

5) Fovvadagi kuchlanish T ni aniqlaymiz. $\Sigma M_0 = 0$

$$T \cdot L = P \cdot (L - z_d) = 0$$

$$T = \frac{P \cdot (L - Z_d)}{L} = \frac{287.5 \cdot (2.5 - 1.66)}{2.5} = 96.6 \text{ kN}$$

6) Sharnirdagi R reaksiya kuchini aniqlaymiz.

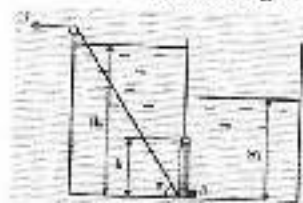
$$\sum M_A = 0$$

$$P \cdot L - F \cdot Z_d = 0$$

$$R = \frac{P \cdot Z_d}{L} = \frac{287.5 \cdot 1.66}{2.5} = 191 \text{ kN}$$

Javob: $T = 96.6 \text{ kN}$ $R = 191 \text{ kN}$

3 - Masala. Ikki qismga ajratilgan rezervuar o'rtasiga bo'yi $h = 0.4 \text{ m}$, eni $b = 0.8 \text{ m}$ bo'lgan shit o'rnatilgan. Suvning chuqurliklari $H_1 = 1.6 \text{ m}$, $H_2 = 1.0 \text{ m}$, $\alpha = 60^\circ$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Shitni ochish uchun kerak bo'lgan T kuchi va A tayanchdagi reaksiya kuchini aniqlang.



2.27-rasm.

Yechish:

Berilgan:

$$H_1 = 1.6 \text{ m}$$

$$H_2 = 1 \text{ m}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$h = 0.4 \text{ m}$$

$$b = 0.8 \text{ m}$$

$$T = ? \quad R_A = ?$$

1) Chap tomondan shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_{c1} = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \left(H_1 - \frac{h}{2} \right) = 10 \cdot \left(1.6 - \frac{0.4}{2} \right) = 10 \cdot 1.4 = 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_1 = h \cdot b = 0.4 \cdot 0.8 = 0.32 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GJK ni aniqlaymiz.

$$P_1 = p_{c1} \cdot \omega_1 = 14 \cdot 0.32 = 4.48 \text{ kN}$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d1} = h_{c1} + \frac{I_x}{h_{c1} \cdot \omega_1}$$

$$h_{c1} = 1.4 \text{ m} \quad \omega_1 = 0.32 \text{ m}^2$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.8 \cdot 0.4^3}{12} = 0.0042$$

$$h_{d1} = 1.4 + \frac{0.0042}{1.4 \cdot 0.32} = 1.409 \text{ m}$$

5) O'ng tomondan shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_{c2} = \gamma \cdot h_{c2} = \gamma \cdot \left(H_2 - \frac{h}{2} \right) = 10 \cdot \left(1 - \frac{0.4}{2} \right) = 10 \cdot 0.8 = 8 \text{ kN/m}^2$$

6) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_2 = h \cdot b = 0.4 \cdot 0.8 = 0.32 \text{ m}^2$$

7) Ta'sir etayotgan GJK ni aniqlaymiz.

$$P_2 = p_{c2} \cdot \omega_2 = 8 \cdot 0.32 = 2.56 \text{ kN}$$

8) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d2} = h_{c2} + \frac{I_x}{h_{c2} \cdot \omega_2}$$

$$h_{c2} = 0.8 \text{ m} \quad \omega_2 = 0.32 \text{ m}^2$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.8 \cdot 0.4^3}{12} = 0.0042$$

$$h_{d2} = 0.8 + \frac{0.0042}{0.8 \cdot 0.32} = 0.816 \text{ m}$$

9) T kuchini aniqlash uchun sharnir turgan nuqtani O deb belgilab moment olamiz.

$$\gamma \cdot h \cdot \cos \alpha - P_1 \cdot [h_{d1} - (H_1 - h)] + P_2 \cdot [h_{d2} - (H_2 - h)] = 0$$

$$\gamma = \frac{P_1 \cdot [h_{d1} - (H_1 - h)] + P_2 \cdot [h_{d2} - (H_2 - h)]}{h \cdot \cos \alpha}$$

$$= \frac{14 \cdot [1.409 - (1.6 - 0.4)] + 8 \cdot [0.816 - (1 - 0.4)]}{14 \cdot 0.209 - 8 \cdot 0.216} = \frac{2.926 - 1.728}{0.2} = \frac{1.198}{0.2} = 6 \text{ kN}$$

10) A nuqtadagi reaksiya kuchini aniqlaymiz.

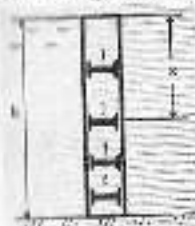
$$\sum M_O = 0$$

$$R_A \cdot h - P_1 \cdot [h_{d1} - (H_1 - h)] + P_2 \cdot [h_{d2} - (H_2 - h)] = 0$$

$$R_A = \frac{P_1 \cdot [h_{d1} - (H_1 - h)] + P_2 \cdot [h_{d2} - (H_2 - h)]}{h} = \frac{2.926 - 1.728}{0.4} = \frac{1.198}{0.4} = 4.95 \text{ kN}$$

Javob: $T = 6 \text{ kN}$ $R_A = 4.95 \text{ kN}$

4 - Masala. Eni $b = 6 \text{ m}$ bo'lgan ikki qavat shit orasiga balkalar joylashtirilgan. Suvning chuqurligi va shitning balandligi $h = 4 \text{ m}$. Zo'riqish bir xilda taqsimlanishi uchun x qanday masofada bo'lishi kerak?



2.28-rasm.

Berilgan:

$$h = 4 \text{ m}$$

$$b = 6 \text{ m}$$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$x = ?$$

Yechish:

- 1) Shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz

$$p_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{h}{2} = 10 \cdot \frac{4}{2} = 20 \text{ kN/m}^2$$

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = h \cdot b = 4 \cdot 6 = 24 \text{ m}^2$$

- 3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P = p_c \cdot \omega = 20 \cdot 24 = 480 \text{ kN}$$

- 4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_d = h_c + \frac{I}{h_c \cdot \omega}$$

$$h_c = 2 \text{ m} \quad \omega = 24 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{6 \cdot 2^3}{12} = 4$$

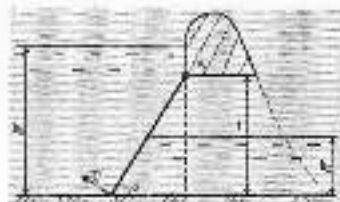
$$h_d = 2 + \frac{4}{2 \cdot 24} = 2.083 \text{ m} \rightarrow h_d = X = 2.083 \text{ m}$$

Javob: $X = 2.083 \text{ m}$

5 - Masala. To'g'onning suv chiqish qismida eni $b = 6 \text{ m}$ bo'lgan shit o'rnatilgan. Yuqori byefda suv chuqurligi $h_1 = 23 \text{ m}$, pastki byefda esa $h_2 = 11.5 \text{ m}$, chiqish qismi balandligi $t = 17.25 \text{ m}$. Qiyalik $\alpha = 45^\circ$. Shit A o'qi atrofida aylanadi. Shitning og'irlik $G = 100 \text{ kN}$.

Aniqlanishi kerak.

- Shitga ta'sir etayotgan GBK P_1 va P_2
- Umumiy GBK P_{um}
- Umumiy kuch bosim markazi.
- Shitni qo'zg'atuvchi T kuchi.



2.29-rasm.

Berilgan

$$h_1 = 23 \text{ m}$$

$$h_2 = 11.5 \text{ m}$$

$$t = 17.25 \text{ m}$$

$$b = 6 \text{ m}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$G = 100 \text{ kN}$$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$

Yuqori byefda suv chuqurligi $h_1 = 23 \text{ m}$, pastki byefda esa $h_2 = 11.5 \text{ m}$, chiqish qismi balandligi $t = 17.25 \text{ m}$. Qiyalik $\alpha = 45^\circ$. Shit A o'qi atrofida aylanadi. Shitning og'irlik $G = 100 \text{ kN}$.

$$p_1 = \gamma \cdot h_{c1} = \gamma \cdot \left[(h_1 - t) + \frac{t}{2} \right] = 10 \cdot \left[(23 - 17.25) + \frac{17.25}{2} \right] = 10 \cdot 14.25 = 142.5 \text{ kN/m}^2$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \sin \alpha \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{17.25}{0.707} \cdot 6 = 148.5 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_1 = p_{c1} \cdot \omega_1 = 142.5 \cdot 148.5 = 21161.25 \text{ kN}$$

4) Pastki byefda suv chuqurligi $h_2 = 11.5 \text{ m}$, chiqish qismi balandligi $t = 17.25 \text{ m}$. Qiyalik $\alpha = 45^\circ$. Shit A o'qi atrofida aylanadi. Shitning og'irlik $G = 100 \text{ kN}$.

$$p_2 = \gamma \cdot h_{c2} = \gamma \cdot \frac{h_2}{2} = 10 \cdot \frac{11.5}{2} = 57.5 \text{ kN/m}^2$$

5) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_2 = \frac{1}{2} \sin \alpha \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{11.5}{0.707} \cdot 6 = 97.9 \text{ m}^2$$

6) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_2 = p_{c2} \cdot \omega_2 = 57.5 \cdot 97.9 = 5612 \text{ kN}$$

7) Shitga ta'sir etayotgan umumiy GBK ni aniqlaymiz.

$$P_{\text{um}} = P_1 + P_2 = 21161.25 + 5612 = 26773.25 \text{ kN}$$

8) Yuqori byefdagi bosim markazini aniqlaymiz.

$$Z_{c1} = Z_c + \frac{I}{Z_c \cdot \omega_1}$$

$$h_{c1} = \frac{h_{c1}}{\sin \alpha} = \frac{14.25}{0.707} = 20.15 \text{ m}$$

$$\omega_1 = 148.5 \text{ m}^2$$

$$I_1 = \frac{b}{12} \left(\frac{t}{\sin \alpha} \right)^3 = \frac{6}{12} \cdot \left(\frac{17.25}{0.707} \right)^3 = 0.5 \cdot 14524.7 = 7262.38$$

$$Z_{c1} = 20.15 + \frac{7262.38}{20.15 \cdot 148.5} = 22.57 \text{ m}$$

9) Pastki byefdagi bosim markazini aniqlaymiz.

$$Z_{c2} = Z_c + \frac{I}{Z_c \cdot \omega_2} = 8.13 + \frac{2151.8}{8.13 \cdot 97.9} = 10.84 \text{ m}$$

$$h_{c2} = \frac{h_{c2}}{\sin \alpha} = \frac{5.75}{0.707} = 8.13 \text{ m}$$

$$\omega_2 = 97.9 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{b}{12} \cdot \left(\frac{h_2}{\sin \alpha} \right)^3 = \frac{6}{12} \cdot \left(\frac{11.5}{0.707} \right)^3 = 0.5 \cdot 4303.6 = 2151.8 \text{ m}^4$$

10) Umumiy ta'sir etayotgan GBK ning qo'yilish nuqtasini aniqlash uchun A nuqtaga nisbatan moment olamiz.

$$EM_A = 0$$

$$P_{um} l = P_1 \cdot \left[Z_{a1} - \left(\frac{h_2 - l}{\sin \alpha} \right) \right] - P_2 \cdot \left[Z_{a2} + \left(\frac{l - h_1}{\sin \alpha} \right) \right]$$

$$l = \frac{P_1 \cdot \left[Z_{a1} - \left(\frac{h_2 - l}{\sin \alpha} \right) \right] - P_2 \cdot \left[Z_{a2} + \left(\frac{l - h_1}{\sin \alpha} \right) \right]}{P_2 - P_1}$$

$$= \frac{21161.25 \cdot \left[22.57 - \left(\frac{23.5 - 17.25}{0.707} \right) \right] - 5612 \cdot \left[10.04 + \left(\frac{17.25 - 11.5}{0.707} \right) \right]}{5612 - 21161.25}$$

$$= \frac{21161.25 \cdot 13.73 - 5612 \cdot 18.97}{15549.25} = \frac{15549.25 \cdot 11.83}{15549.25}$$

$$l = 11.83 \text{ m}$$

11) Shitni qo'zg'atuvchi T kuchni aniqlash uchun A nuqtaga nisbatan moment olamiz.

$$EM_A = 0$$

$$T \cdot \frac{l}{\sin \alpha} - P_{um} \cdot l - G \cdot \frac{l}{2 \cdot \sin \alpha} = 0$$

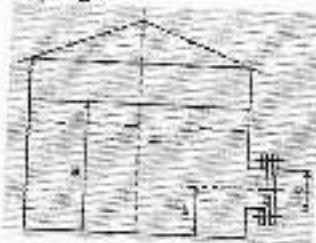
$$T = \frac{P_{um} \cdot l + G \cdot \frac{l}{2 \cdot \sin \alpha}}{\frac{l}{\sin \alpha}} = \frac{15549.25 \cdot 11.83 + 100 \cdot \frac{17.25}{2 \cdot 0.707}}{\frac{17.25}{0.707}}$$

$$= \frac{183947.62 - 1219.94}{24.393} = 7489.4 \text{ kN}$$

Javob: $P_1 = 21161.25 \text{ kN}$

$P_2 = 5612 \text{ kN}$

6 - Masala. Rezervuarga zichligi $\rho = 860 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan kerosin quyilgan. Kerosin chuqurligi $H = 8 \text{ m}$ rezervuar tubigacha. $h = 0.5 \text{ m}$. Qopqoq diametri $D = 0.75 \text{ m}$, ya'ni $n = 12$ dona bolt bilan qotirilgan. Ruxsat etilgan kuchlanish $\sigma = 700 \text{ kg/cm}^2 = 70 \text{ MPa}$ boltlar diametrini aniqlang.



2.30-rasm.

Berilgan:

$$H = 8 \text{ m}$$

$$h = 0.5 \text{ m}$$

$$\gamma = 8.6 \text{ kN/m}^3$$

$$D = 0.75 \text{ m}$$

$$n = 12$$

$$\sigma = 700 \text{ kg/cm}^2$$

$$d = ?$$

1) Kerosin og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p = \gamma \cdot h_2 = \gamma \cdot (H - h) = 8.6 \cdot (8 - 0.5) = 8.6 \cdot 7.5 = 64.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Kerosin chuqurligini aniqlaymiz.

$$h_2 = \frac{p}{\gamma} = \frac{64.5}{0.75} = 0.44 \text{ m}^2$$

3) 12 ta qotirilgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P = p \cdot h_2 = 64.5 \cdot 0.44 = 28.48 \text{ kN}$$

4) Kuchni boltlarga taqsimlaymiz.

$$P_{um} = \frac{P}{n} = \frac{28.48}{12} = 2.37 \text{ kN} = 237 \text{ kgk}$$

5) Boltning va siqilish defarmatsiyasiga asosan, ruxsat etilgan kuchdan foydalanib boltlar diametrini aniqlaymiz.

$$d = \sqrt[4]{\frac{P_{um}}{[\sigma] \cdot \pi}} = [6]$$

$$\omega_n = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{P_{um}}{[\sigma] \cdot \pi}} = \sqrt[4]{\frac{237}{700 \cdot 3.14}} = 0.65 \text{ sm}$$

$$d = 0.65 \text{ sm} = 6.5 \text{ mm}$$

7 - Masala. Suvni to'sib turgan zatvorning o'lchamlari: bo'yi $a = 4 \text{ m}$, $b = 2 \text{ m}$ va qalinligi $c = 0.2 \text{ m}$ chap tomonidagi suvning chuqurligi $h_1 = 3 \text{ m}$, o'ng tomonidagi suvning chuqurligi $h_2 = 1.5 \text{ m}$. Zatvor metaldan tayyorlangan $\gamma_m = 75 \text{ kN/m}^3$. Ishqalanish koeffitsiyenti $f = 0.4$. Suvning zichligi $\gamma = 10 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa zatvorni ko'taruvchi tashabki kuch T ni aniqlang?

Berilgan:

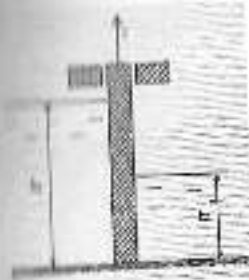
$$a = 4 \text{ m}, b = 2 \text{ m}, c = 0.2 \text{ m}$$

$$h_1 = 3 \text{ m}, h_2 = 1.5 \text{ m}$$

$$\gamma_m = 75 \text{ kN/m}^3$$

$$f = 0.4$$

$$T = ?$$



2.31-rasm.

- 1) Chap tomondan zatvorning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_{c1} = \gamma \cdot h_{c1} = \gamma \cdot \frac{h_1}{2} = 10 \cdot \frac{3}{2} = 10 \cdot 1.5 = 1.5 \frac{kN}{m^2}$$

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_1 = h_1 \cdot b = 3 \cdot 2 = 6 m^2$$

- 3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_1 = p_{c1} \cdot \omega_1 = 1.5 \cdot 6 = 90 kN$$

- 4) O'ng tomondan shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_{c2} = \gamma \cdot h_{c2} = \gamma \cdot \frac{h_2}{2} = 10 \cdot \frac{1.5}{2} = 10 \cdot 0.75 = 7.5 \frac{kN}{m^2}$$

- 5) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_2 = h_2 \cdot b = 1.5 \cdot 2 = 3 m^2$$

- 6) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_2 = p_{c2} \cdot \omega_2 = 7.5 \cdot 3 = 22.5 kN$$

- 7) Zatvorning og'irlik kuchini aniqlaymiz.

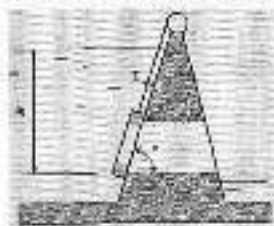
$$G = \gamma_m \cdot W = \gamma_m \cdot a \cdot b \cdot 0.2b = 75 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0.2 \cdot 2 = 75 \cdot 3.2 = 240 kN$$

- 8) Zatvorni ko'taruvchi T kuchni aniqlaymiz.

$$T \geq G + (P_1 + P_2) \cdot f = 240 + (90 + 22.5) \cdot 0.4 = 240 + 45 = 285$$

$$\text{Javob: } T \geq 285 kN = 25.5 Tk$$

8 - Masala. To'g'onda suvning chiqish qismini to'sib turuvchi shitning balandligi $a = 2 m$, eni $B = 1.6 m$, qalinligi $c = 0.25b$, $\alpha = 60^\circ$. Shitning pastki qismigacha bo'lgan chuqurlik $h_1 = 10 m$, shitning massasi $m = 2 t$, ishqalanish $f = 0.3$ suvning solishtirma og'irligi $\gamma = 10 kN/m^3$ bo'lsa shitni ko'taruvchi T kuchni aniqlang?



2.32-rasm.

Berilgan:

$$h_1 = 10 m, \quad a = 2 m, \quad b = 1.6 m, \quad c = 0.25b$$

$$\alpha = 60^\circ, \quad m = 2T, \quad f = 0.3, \quad \gamma = 10$$

$$\frac{kN}{m^3} = 1 Tk/m^3$$

$$T = ?$$

Yechish:

- 1) Shitning O og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \left(h_1 - \frac{a}{2} \right) = 1 \cdot \left(10 - \frac{2}{2} \right) = 1 \cdot 9 = 9 \frac{Tk}{m^2}$$

Yechish:

$$V = \frac{1}{2} \cdot (a + b) \cdot h = \frac{1}{2} \cdot (1.6 + 1.6) \cdot 1.6 = 1.7 m^3$$

Shitni ko'taruvchi GBK ni aniqlaymiz.

Shitni ko'taruvchi kuch Arkimed kuchini aniqlaymiz.

Shitni ko'taruvchi T kuchni aniqlaymiz.

$$T = 9.77 kN = 97 kN = 97000 N$$

8 - Masala. Rezervuardan suvni chiqarish uchun A zatvorni ochish. Zatvor bo'lgan T kuchni aniqlang. O'lchamlari: eni $b = 0.6 m$, balandligi $a = 1.2 m$, suvning chuqurligi $H = 10 m$. Kameradagi bosim $P_k = 10 kN/m^2$, $h = 0.8 m$.



2.33-rasm.

Berilgan:

$$a = 1.2 m$$

$$b = 0.6 m$$

$$H = 10 m$$

$$h = 0.8 m$$

$$P_k = 0.01 \text{ at } 1 kN/m^2$$

$$\gamma = 10 \frac{kN}{m^3}$$

$$T = ?$$

Yechish:

- 1) Zatvorning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = P_{at} + \gamma \cdot h_c = P_{at} + \gamma \cdot \left(H - h - \frac{a}{2} \right) = 100 + \left(10 - 0.8 - \frac{1.2}{2} \right)$$

$$= 100 + 10 \cdot 8.6 = 186 \frac{kN}{m^2}$$

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = ab = 1.2 \cdot 0.6 = 0.72 m^2$$

- 3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P = P_c \cdot \omega = P_{at} \cdot \omega = (P_c - P_k) \cdot \omega = (186 - 1) \cdot 0.72 = 185 \cdot 0.72$$

$$= 133.2 kN$$

- 4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_d = h_c + \frac{J}{h_c \cdot \omega}$$

$$J = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{0.6 \cdot 1.2^3}{12} = 0.0864$$

$$h_c = 8.6 \text{ m} \quad \omega = 0.72 \text{ m}^2$$

$$h_d = 8.6 + \frac{0.0864}{8.6 \cdot 0.72} = 8.61 \text{ m}$$

5) T kuchini aniqlash uchun O nuqtaga nisbatan moment olamiz.

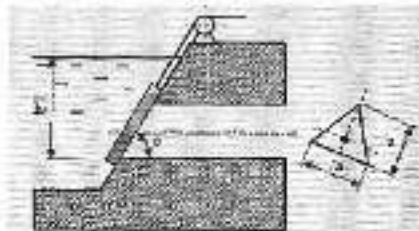
$$\sum M_O = 0$$

$$T \cdot \frac{a}{2} - F \cdot (h_d - H - h - a) = 0$$

$$T = \frac{F \cdot (h_d - H - h - a) \cdot 2}{a} = \frac{133.2 \cdot (8.61 - 8) \cdot 2}{1.2} = \frac{133.2 \cdot 1.22}{1.2} = 135.42 \text{ kN}$$

Javob: $T \geq 135.4 \text{ kN} = 13.54 \text{ TK}$

10 - Masala. Uchburchak shaklidagi suv tashlama zarvorning asosi $a = 12 \text{ m}$, balandligi $b = 1.5 \text{ m}$, qiyaligi $\alpha = 45^\circ$, suvning chuqurligi $h = 9.5 \text{ m}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa zarvorga ta'sir etayotgan GBK va bosim markazini aniqlang.



$b = 1.5 \text{ m}$
 $\alpha = 45^\circ$

2.34-rasm.

Berilgan
 $h = 9.5 \text{ m}$
 $a = 12 \text{ m}$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$F = ? \quad h_d = ?$$

Yechish:

1) Zarvorning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = \gamma \cdot \left(h - \frac{b}{3} \cdot \sin \alpha \right) = 10 \cdot \left(9.5 - \frac{1.5}{3} \cdot 0.707 \right) = 10 \cdot 9.14 = 91.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{a \cdot b}{2} = \frac{12 \cdot 1.5}{2} = 0.9 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz

$$F = P_c \cdot \omega = 91.4 \cdot 0.9 = 82.26 \text{ kN}$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_d = h_c + \frac{J}{h_c \cdot \omega}$$

$$h_c = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{9.5}{0.707} = 13.42 \text{ m}$$

$$J = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{1.5 \cdot 12^3}{12} = 18 \text{ m}^4$$

$$h_d = 13.42 + \frac{18}{13.42 \cdot 0.9} = 12.92 \text{ m}$$

$$F = 82.26 \text{ kN}$$

11 - Masala. O o'q atrofida aylanuvchi shitni ko'taruvchi kuch F ni shitning og'irligi hisobga olinmasin. Shitning eni $b = 1.25 \text{ m}$, suvning chuqurligi $H = 1.5 \text{ m}$, $a = 0.2 \text{ m}$, $\alpha = 60^\circ$.

Berilgan:

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3 \quad H = 1.5 \text{ m}$$

$$b = 1.25 \text{ m} \quad a = 0.2 \text{ m}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$Q = ?$$



1.35-rasm.

Yechish:

1) Shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{H}{2} = 10 \cdot \frac{1.5}{2} = 10 \cdot 0.75 = 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{H}{\sin \alpha} \cdot b = \frac{1.5}{0.866} \cdot 1.25 = 2.16 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F = P_c \cdot \omega = 7.5 \cdot 2.16 = 16.2 \text{ kN}$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_d = h_c + \frac{J}{h_c \cdot \omega}$$

$$h_c = 0.866 \text{ m} \quad \omega = 2.16 \text{ m}^2$$

$$J = \frac{b}{12} \cdot \left(\frac{H}{\sin \alpha} \right)^3 = \frac{1.25}{12} \cdot \left(\frac{1.5}{0.866} \right)^3 = 0.54$$

$$h_d = 0.866 + \frac{0.54}{0.75 \cdot 2.16} = 1.21 \text{ m}$$

5) Q kuchni aniqlash uchun O nuqtaga nisbatan moment olamiz.

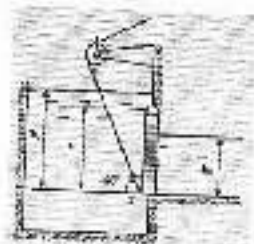
$$\sum M_O = 0$$

$$Q \cdot \left(\frac{H}{\sin \alpha} \cdot a \right) - F \cdot (h_d + a) = 0$$

$$Q = \frac{F \cdot (h_d + a)}{\left(\frac{H}{\sin \alpha} \cdot a \right)} = \frac{16.2 \cdot (1.21 + 0.2)}{\left(\frac{1.5}{0.866} \cdot 0.2 \right)} = \frac{22.84}{1.93} = 11.83 \text{ kN}$$

Javob: $Q \geq 11.03 \text{ kN} - 1.107 \text{ k}$

12 - Masala. Rezervuarda suvni to'sib turgan shitning o'lchatlari $a=3\text{m}$, $b=4\text{m}$. Chap tomondagi suvning chuqurligi $h_1=5\text{m}$, o'ng tomondagi esa $h_2=2\text{m}$. Suvning solishtirma og'irligi $\gamma=10 \text{ kN/m}^3$. Shit O nuqtadagi sharnir atrofida aylanadi. Shitni dastlabki ko'taruvchi kuch T ni aniqlang.



2.36-rasm.

Berilgan:

$$\begin{aligned} h_1 &= 5 \text{ m} \\ h_2 &= 2 \text{ m} \\ a &= 3 \text{ m} \\ b &= 4 \text{ m} \\ \gamma &= 10 \text{ kN/m}^3 \\ \alpha &= 60^\circ \\ T &? \end{aligned}$$

Yechish:

1) Dastlabki rezervuarning chap tomonidan shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \left(h_1 - \frac{a}{2} \right) = 10 \cdot \left(5 - \frac{3}{2} \right) = 10 \cdot 3.5 = 35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = a \cdot b = 3 \cdot 4 = 12 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_c = p_c \cdot \omega = 35 \cdot 12 = 420 \text{ kN}$$

4) Bosim markazitini aniqlaymiz.

$$\begin{aligned} h_{d1} &= h_c + \frac{J_{ox}}{h_c \cdot \omega} \\ h_c &= 3.5 \text{ m} \\ J_{ox} &= \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{4 \cdot 3^3}{12} = \frac{108}{12} = 9 \\ h_{d1} &= 3.5 + \frac{9}{3.5 \cdot 12} = 3.71 \text{ m} \end{aligned}$$

5) O'ng tomondan shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{h_2}{2} = 10 \cdot \frac{2}{2} = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

6) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = h_2 \cdot b = 2 \cdot 4 = 8 \text{ m}^2$$

7) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_c = p_c \cdot \omega = 10 \cdot 8 = 80 \text{ kN}$$

8) Bosim markazitini aniqlaymiz.

$$\begin{aligned} h_{d2} &= h_c + \frac{J_{ox}}{h_c \cdot \omega} \\ h_c &= \frac{h_2}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ m} \\ J_{ox} &= \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{4 \cdot 2^3}{12} = \frac{32}{12} = 2.66 \\ h_{d2} &= 1 + \frac{2.66}{1 \cdot 8} = 1.33 \text{ m} \end{aligned}$$

9) T kuchni aniqlash uchun sharnir turgan O nuqtaga nisbatan moment tuzamiz.

$$\sum M_O = 0$$

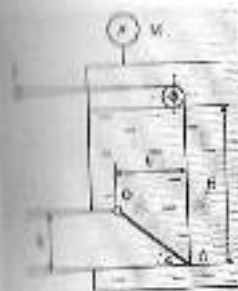
$$T \cdot a \cdot \cos 60^\circ - F_1 \cdot [h_{d1} - (h_1 - a)] + F_2 \cdot [h_{d2} + (a - h_2)] = 0$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{F_1 \cdot [h_{d1} - (h_1 - a)] - F_2 \cdot [h_{d2} + (a - h_2)]}{a \cdot \cos 60^\circ} \\ &= \frac{420 \cdot [3.71 - (5 - 3)] - 80 \cdot [1.33 + (3 - 2)]}{3 \cdot 0.5} \\ &= \frac{420 \cdot 1.71 - 80 \cdot 2.33}{1.5} = \frac{531.8}{1.5} = 354.53 \text{ kN} \end{aligned}$$

Javob: $T = 354.53 \text{ kN}$

Mustaqil yechishga doir masalalar:

13 - Masala. Rezervuardan benzinni kvadrat quvur ($h=0.3\text{m}$) ga chiqish qismida qiya joylashgan AO klapan to'sib turibdi. Qiylalik $\alpha=45^\circ$. Benzin chuqurligi $H=0.85\text{m}$, benzin zichligi $\rho=700 \text{ kg/m}^3$, benzin rezervuaridagi manometning ko'rsatkichi $M=0.05 \text{ kg/m}^2 = 5000 \text{ Pa} = 50 \text{ kN/m}^2$. Trossdagi kuchlanish T ni aniqlang.



2.37-rasm.

Berilgan:

$$\begin{aligned} H &= 0.85 \text{ m} \\ h &= 0.3 \text{ m} \\ \alpha &= 45^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_M &= 50 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma &= 7 \text{ kN/m}^3 \\ T &? \end{aligned}$$

Javob: $T = 4.55 \text{ kN}$

14 - Masala. Ikki qismga ajralgan rezervuar o'rtasiga kvadrat shakildagi $a \approx \alpha = 0.6 \times 0.6 \text{ m}^2$ shit (darvoza) quyilgan. O'ng tomondagi suvning sathi $H_1=2\text{m}$, ga etishi bilan shit avtomatik tarzda ochilishi uchun

shamir berilgan o'qdan qancha masofada x bo'lishi kerak? Chastotadagi suv sathi o'zgarish $H_2 = 1\text{ m}$. Shamirdagi reaksiya kuchini aniqlang.



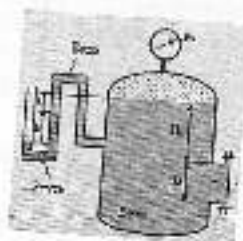
2.38-rasm.

Berilgan
 $H_1 = 2\text{ m}$
 $H_2 = 1\text{ m}$
 $a = 0.6\text{ m}$
 $\rho = 10\text{ kN/m}^3$
 $x = ?$ $R_0 = ?$

Javob: $X = 0.29\text{ m}$; $R_0 = 3.6\text{ kN}$

15 - **Masala.** Diametri $D = 1\text{ m}$ bo'lgan qopqoqqa ta'sir etayotgan GBK ni quyidagi holatlarda aniqlang.

- a) Manometr ko'rsatgichi $P_m = 0.08\text{ MPa}$ $H_0 = 1.5\text{ m}$,
 b) Vakuummetr simob ko'rsatgichi $h = 73.5\text{ mm}$ $a = 1\text{ m}$ $\rho_{\text{sim}} = 13600\text{ kg/m}^3$
 $H_0 = 1.5\text{ m}$.



2.39-rasm.

Berilgan
 $H_0 = 1.5\text{ m}$
 $D = 1\text{ m}$
 $P_m = 0.08\text{ kN/m}^2$
 $\gamma = 10\text{ kN/m}^3$

Javob: $F = 0$

2.13. Egri sirlarga ta'sir qiluvchi bosim

Texnikada ba'zi hollarda egri sirtga tushadigan bosimni topish talab etiladi. Buni topish uchun 2.34-rasmdan foydalanamiz. Egri sirtga tushadigan bosim chegirma va gidrostatik bosim kuchlari yig'indisidan iborat:

$$P = P_s + P_0 \quad (2.28)$$

2.34-rasmdan ko'rinib chiqadi, egri sirtga tushadigan bosimni topish uchun koordinata z bo'yida tekisliklarni ko'rib chiqamiz. U holda kichkina yuzaga tushadigan bosim dP , dP_x va dP_y proyeksiyalarga ega bo'ladi. dP yuzaning z bo'yida tekisliklardagi proyeksiyalari esa $d\omega_x$ va $d\omega_y$ ga teng. Kichkina yuzaga tushadigan bosim yuqorida ko'rganimizdek quyidagicha hisoblanadi:

$$dP = \rho \omega dz$$

Uning gorizontal tashkil etuvchisi esa

$$dP_x = dP \cos \alpha = \rho \omega \cos \alpha dz$$

ikkinchi tomondan $d\omega \cos \alpha = d\omega_x$ bo'lgani uchun

$$dP_x = \rho \omega_x dz$$

Egri sirtga ta'sir etayotgan to'liq bosimning proyeksiyasini topish uchun S_y yuzasi bo'yicha integral olamiz:

$$P_x = \int_{(S_y)} \rho \omega_x dz = \rho \int_{(S_y)} \omega_x dz \quad (2.29)$$

bu yerda $\int_{(S_y)} \omega_x dz$ yuzaning Oz o'qqa nisbatan statik momentidir.

Shunday uchun

$$P_x = \rho \omega_x h_x$$

bu yerda ω_x egri sirtning yOz o'qdagi proyeksiyasi; h_x - ω yuzasi og'irlik markazining chuqurligi; $h_x = \frac{h}{2}$. Shunday qilib, egri sirtga tushadigan bosimning gorizontal tashkil etuvchisi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$P_x = \rho \omega_x h_x \quad (2.30)$$

Bu formula tekis sirlarga tushadigan bosimni hisoblash formulasiga o'xshaydi va undan faqat ω_x yuzasi egri sirtning yOz tekislikdagi proyeksiyasi ekanligi bilan farq qiladi.

Endi, egri sirtga tushadigan bosimning vertikal tashkil etuvchisini topamiz.

2.47-rasmdan

$$dP_y = dP \sin \alpha = \rho \omega \sin \alpha dz$$

Amma $d\omega \sin \alpha = d\omega_y$ bo'lgani uchun

$$dP_y = \rho \omega_y dz$$

Integrallash yo'li bilan P_y ni topamiz:

$$P_y = \int_{(S_y)} \rho \omega_y dz = \rho \int_{(S_y)} \omega_y dz = \rho W$$

bu yerda $W = \int_{(S_y)} \omega_y dz$ - egri sirt, uning chegarasidagi vertikal va erkin sirtlar orasidagi hajmdan iborat bo'lib, bosuvchi jism deb ataladi.

Shunday qilib, egri sirtga tushadigan bosimning vertikal tashkil etuvchisi bosuvchi jism hajmi bilan suyuqlik solishtirma og'irligining ko'paymasiga teng, ya'ni

$$P_z = \gamma W. \quad (2.31)$$

Egri sirtga tushadigan bosimning gorizontal va vertikal tashkil etuvchilari orqali uning o'zini topish mumkin:

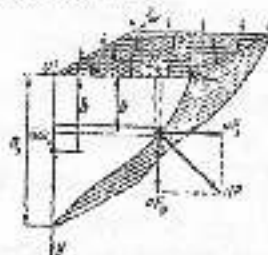
$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}. \quad (2.32)$$

Demak, egri sirtga tushadigan bosim uning tashkil etuvchilari P_x va P_z ning kvadratlari yig'indisidan olingan ildizga teng ekan. Egri sirtga tushadigan bosimning yo'nalishi quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

$$\cos \alpha = \frac{P_z}{P} \text{ yoki } \sin \alpha = \frac{P_x}{P} \text{ yoki}$$

$$\tan \alpha = \frac{P_x}{P_z}.$$

Kuchning qo'yilish nuqtasi grafik usulda topiladi. U kuch yo'nalishi bilan egri sirtning kesishgan nuqtasida bo'ladi.



2.40-rasm. Egri sirtga tushadigan bosimni tushuntirishga doir chizma.

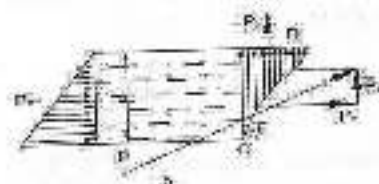
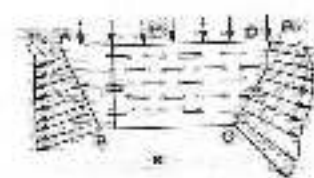
2.14. Bosim epyurasi

Biror sirt yoki kontur bo'yicha bosim taqsimlanishining grafik usulda ifodalanishi *bosim epyurasi* deb ataladi.

a) **Tekis sirt.** Tekis sirtning erkin sirt bilan tutashgan yeridagi bosim erkin sirtidagi bosimga teng (2.48-rasm). Uning qolgan nuqtalarida esa erkin sirtidagi bosimga chog'irna bosim qo'shiladi. Hidrostatikaning asosiy tenglamasiga asosan

$$P = p_0 + \gamma h$$

ya'ni sirtning eng pastki nuqtasida bosim eng katta miqdorga ega bo'ladi.



2.41-rasm. Bosim epyurasi.

AB sirtga tushadigan bosim epyurasini olish uchun A va B nuqtalarda bosimning miqdori va yo'nalishini qo'yib, uchlarini tutashiramiz. Hosil bo'lgan shakl bosim epyurasi bo'ladi. Bosim vektorlari uchini tutashuvchi chiziqning bosim vektori bilan tashkil qilgan burchagi quyidagicha topiladi:

$$\tan \alpha = \frac{h}{\gamma h} = \frac{1}{\gamma}.$$

Bosim epyurasi esa trapetsiya ko'rinishida bo'lib, to'g'ri to'rtburchak ko'rinishidagi tashqi bosim va uchburchak ko'rinishidagi chog'irna bosim epyuralarining yig'indisidan iborat.

b) **Egri sirtga bosim ikki tashkil etuvchiga ega bo'lib** (2.48-rasm, b). P_x tashkil etuvchisi tekis sirtidagi kabi epyuraga ega bo'ladi. P_z ning epyurasi esa egri sirt bilan erkin sirt orasidagi soha shakliga ega bo'ladi. Teng ta'sir etuvchi kuch yoki to'liq bosimning qo'yilish nuqtasi va kattaligini grafik usulda topish mumkin. Buning uchun P_x tashkil etuvchining yo'nalishini P_z ning yo'nalishi bilan kesishguncha davom ettiramiz. Kesishgan nuqtasiga esa P_x va P_z larni keltirib qo'yamiz va parallelogramm hosil qilamiz. Uning diagonali yo'nalishini egri sirt bilan kesishguncha davom ettirib, kesishish nuqtasiga suyuqlik tomondan hosil bo'lgan P kuchni keltirib qo'yamiz E nuqta bosim markazi yoki teng ta'sir etuvchi kuchning qo'yilishi nuqtasi bo'ladi.

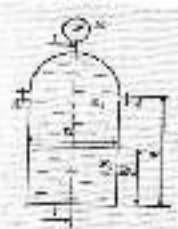
Texnikada uchraydigan sirtlar silindr, sfera va uning qismlaridan iborat bo'lishi mumkin.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

1 - Masala. Vertikal holatda silindrik sisterna yarimshar shaklidagi qopqoq bilan yopilgan va ichida ikki xil suyuqlik ($\mathcal{K}_1, \mathcal{K}_2$) ($\rho_1 = 1150 \text{ kg/m}^3$ va $\rho_2 = 1060 \text{ kg/m}^3$) quyilgan. Sisterna diametri $D = 2.6 \text{ m}$, silindr qismining balandligi $H = 4.5 \text{ m}$, $\mathcal{K}_1$, suyuqlik chuqurligi $H/2$, manometrik ko'rsatkichi $P_m = 0.01 \text{ MPa}$.

Aniqlang:

A) Boltdagi kuchlanish, 1-1 kesimdagi GBK ning gorizantal tashkil etuvchisini.



2.42-rasm.

Berilgan;
 $D = 2.6 \text{ m}$
 $H = 4.5 \text{ m}$
 $P_m = 10 \text{ kN/m}^2$
 $\gamma_1 = 11.5 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_2 = 10.6 \text{ kN/m}^3$
 $R = 1.3 \text{ m}$
 $P_x = ?$ $P_A = ?$

Yechish:

1) Yarim sfera qopqoqni yuqoriga ko'taruvchi kuchni aniqlaymiz.

$$F_2 = P_m \cdot \omega = P_m \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 10 \cdot \frac{3.14}{4} \cdot 2.6^2 = 10 \cdot 5.3 = 53 \text{ kN}$$

2) A boltidagi kuchlanishni aniqlaymiz.

$$P_A = \frac{F_2}{2} = \frac{53}{2} = 26.5 \text{ kN}$$

3) 1-1 kesimdagi gorizantal tashkil etuvchi P_x ni aniqlaymiz.

$$F_x = F_2 + F_1$$

$$\begin{aligned} F_2 &= P_c \cdot \omega = (P_m + \gamma_2 \cdot h_2) \cdot \omega = \left[P_m + \gamma_2 \cdot \left(\frac{H}{2} + R \right) \right] \cdot \left(D \cdot \frac{H}{2} + \frac{\pi R^2}{2} \right) \\ &= \left[10 + 10.6 \cdot \left(\frac{2.25 + 1.3}{2} \right) \right] \cdot \left(2.6 \cdot 2.25 + \frac{3.14 \cdot 1.3^2}{2} \right) = 288 \cdot 8.5 \\ &= 244.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_1 &= P_1 \cdot \omega = (P_m + \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2) \cdot \omega = \left[P_m + \gamma_1 \cdot \left(\frac{H}{2} + R \right) + \gamma_2 \cdot \frac{H}{2} \right] \cdot \left(D \cdot \frac{H}{2} \right) \\ &= [10 + 10.6 \cdot (2.25 + 1.3) + 11.5 \cdot 1.125] \cdot 2.6 \cdot 2.25 = 60.25 \cdot 5.85 \\ &= 354.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_x = F_2 + F_1 = 244.9 + 354.2 = 599 \text{ kN}$$

Javoblar: $F_x = 599 \text{ kN}$

$P_A = 26.5 \text{ kN}$

Masala. Tubi yarim shar shaklidagi silindrik rezervuarga suv quyilgan. Agar $d = 4 \text{ m}$; $h_1 = 4 \text{ m}$; $h_2 = 2 \text{ m}$ bo'lsa:

a) Rezervuar tubiga ta'sir etayotgan manometrik bosim kuchini aniqlang;

b) ABC - devorga ta'sir etayotgan GBKni aniqlang.

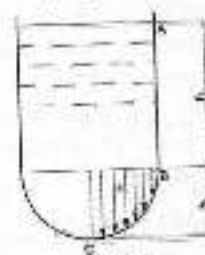
Yechish:

1. Idish tubidagi manometrik bosimni aniqlaymiz.

$$P_2 = P_1 + \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$h_2 = P_2 - P_1 = P_1 + \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) - P_1 = \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) = 1000 \cdot 9.81 \cdot (3 + 2) = 58850 \text{ Pa} = 0.5885 \text{ MPa}$$

2. AB devorga ta'sir etayotgan GBKni aniqlaymiz.



2.43 rasm.

$$F_{AB} = P_{AB} \cdot \omega_{AB} = (P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2) \cdot h_2 \cdot d = (58850 + 1000 \cdot 9.81 \cdot 4) \cdot 4 \cdot 4 = 2.2 \text{ MN}$$

3. BC devorga ta'sir etayotgan GBKni P_x tashkil etuvchisini aniqlaymiz.

$$P_{x(BC)} = \frac{1}{2} \cdot P_2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{1}{8} \cdot 156960 \cdot 3.14 \cdot 4^2 \approx 1 \text{ MN}$$

4. BC devorga ta'sir etayotgan GBKni P_x tashkil etuvchisini aniqlaymiz.

$$P_{x(BC)} = W_{s.r.} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{1}{3} \cdot 3.14 \cdot 2^2 = 8.37 \text{ N}$$

5. BC devorga ta'sir etayotgan GBK quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{BC} = \sqrt{P_{x(BC)}^2 + P_{z(BC)}^2} = \sqrt{1000000^2 + 8.37^2} \approx 1 \text{ MN}$$

6. ABC devorga ta'sir etayotgan GBK quyidagicha aniqlanadi:

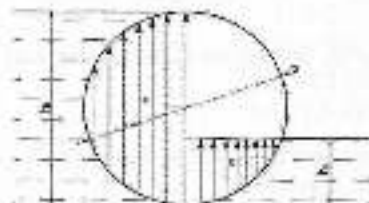
$$P_{ABC} = \sqrt{P_{AB}^2 + P_{BC}^2} = \sqrt{2.2^2 + 1.0^2} \approx 2.41 \text{ MN}$$

3 - Masala. Diametri $D = 2 \text{ m}$ va uzunligi $L = 5 \text{ m}$ bo'lgan silindri darvozaga ta'sir etayotgan kuchning miqdori va yo'nalishini aniqlang.

Agar:

$$h_1 = 3 \text{ m};$$

$$h_2 = 1 \text{ m}.$$



2.44 rasm.

Yechish:

1. P_{1x} ni quyidagicha aniqlaymiz.

$$P_{1x} = \frac{h_1 \cdot \gamma \cdot h_1}{2} = \frac{3 \cdot 9810 \cdot 3}{2} = 44145 \text{ N}$$

2. P_{1z} ni quyidagicha aniqlaymiz.

$$P_{1z} = W_{n.r.} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{2}{3} \cdot 3.14 \cdot 1^2 = 2.1 \text{ N}$$

3. P_1 ni quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz.

$$P_1 = \sqrt{P_{1x}^2 + P_{1z}^2} = \sqrt{44145^2 + 2.1^2} = 44145 \text{ N} \approx 44 \text{ kN}$$

4. P_{2x} ni quyidagicha aniqlaymiz.

$$P_{2x} = \frac{h_2 \cdot \gamma \cdot h_2}{2} = \frac{1 \cdot 9810 \cdot 1}{2} = 4905 \text{ N}$$

5. P_{2z} ni quyidagicha aniqlaymiz.

$$P_{2z} = W_{n.r.} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{2}{9} \cdot 3.14 \cdot 1^2 = 0.7 \text{ N}$$

6. P_2 ni quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz.

$$P_2 = \sqrt{P_{2x}^2 + P_{2z}^2} = \sqrt{4905^2 + 0.7^2} = 4905 \text{ N} \approx 5 \text{ kN}$$

1. Darvozaga ta'sir etayotgan GBKlarni qo'yilish nuqtasini

$$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x} = \arctg \frac{2.1}{44145} \approx 1^\circ$$

$$\beta = \arctg \frac{P_z}{P_x} = \arctg \frac{0.7}{4905} \approx 1^\circ$$

1 - Masala. Silindr shaklidagi ABC egri sirtga ta'sir etayotgan GBK horizontal va vertikal tashkil etuvchilarini epyuralarini quring hamda bosim markazini aniqlang. Silindr radiusi $R = 1.2 \text{ m}$, uzunligi $L = 2.0 \text{ m}$. A nuqta suv sathidan $h = 0.7 \text{ m}$, chuqurlikda.

Berilgan

$$R = 1.2 \text{ m}$$

$$L = 2.0 \text{ m}$$

$$h = 0.7 \text{ m}$$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$F = ? \quad \alpha = ?$$



2.45-rasm.

Yechish:
1) GBK ning gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash uchun egri sirtni vertikal proyeksiyasida bosim epyurasini chizamiz.

$$P_x = \gamma \cdot h = 10 \cdot 0.7 = 7 \text{ kN/m}^2$$

$$P_z = \gamma \cdot (h + R) = 10 \cdot (0.7 + 1.2) = 10 \cdot 1.9 = 1.9 \text{ kN/m}^2$$

2) Gorizontal tashkil etuvchi F_x bosim tanasi hajmiga teng

$$F_x = W_{n.r.} = \frac{P_x + P_z}{2} \cdot R \cdot L = \frac{7 + 1.9}{2} \cdot 1.2 \cdot 2 = 31.2 \text{ kN}$$

3) Vertikal tashkil etuvchi F_z ni aniqlaymiz.

$$F_z = \gamma \cdot W_{n.r.} = 10 \cdot 3.94 = 39.4 \text{ kN}$$

$$W_{n.r.} = \left(\frac{\pi R^2}{4} + h \cdot R \right) \cdot L = \left(\frac{3.14 \cdot 1.2^2}{4} + 0.7 \cdot 1.2 \right) \cdot 2 = 1.97 \cdot 2 = 3.94 \text{ m}^3$$

4) Egri sirtga ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

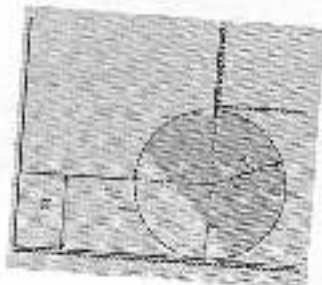
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} = \sqrt{31.2^2 + 39.4^2} = 50.25 \text{ kN}$$

5) Gorizontal tekislik bilan tashkil etgan burchagini aniqlaymiz.

$$\alpha = \arctg \frac{F_z}{F_x} = \frac{39.4}{31.2} = 1.26 = 51.62^\circ$$

$$\text{Javob: } F = 50.25 \text{ kN}; \quad \alpha = 51.62^\circ$$

5 - Masala. Radiusi $R = 3 \text{ m}$, eni $L = 2 \text{ m}$, bo'lgan silindr shaklidagi zatvorga ta'sir etayotgan GRK ni aniqlang. Zatvor oldidagi suv chuqurligi $H = 3 \text{ m}$.



Berilgan

$$R = 3 \text{ m}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$F = ?$$

2.46-rasm.

Yechish:

1) Zatvorga ta'sir etayotgan GBK ning gorizantal tashkil etuvchisi F_x ni aniqlaymiz.

$$F_x = P_c \cdot \omega = \gamma \cdot h \cdot \omega = \gamma \cdot \frac{H}{2} \cdot R \cdot L = 10 \cdot \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 2 = 15 \cdot 6 = 90 \text{ kN}$$

2) Vertikal tashkil etuvchi F_z kuchini aniqlaymiz.

$$F_z = \gamma \cdot W_{\text{GT}}$$

$$W_{\text{GT}} = \frac{\pi R^2}{4} \cdot L = \frac{3.14 \cdot 3^2}{4} \cdot 2 = 14.13 \text{ m}^3$$

$$F_z = 10 \cdot 14.13 = 141.3 \text{ kN}$$

3) Zatvorga ta'sir etayotgan umumiy GBK F ni aniqlaymiz.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} = \sqrt{90^2 + 141.3^2} = 167.5 \text{ kN}$$

4) Gorizantal tekislik bilan tashkil qiluvchi burchakni aniqlaymiz.

$$\alpha = \arctg \frac{F_z}{F_x} = \frac{141.3}{90} = 1.57 = 57.5^\circ$$

Javob: $F = 167.5 \text{ kN}$

Mустаqil yechishga doir masalalar:

1) Tutaqchi shaklidagi silindrik rezervuarga neft quyilgan. Agar $d = 1.8 \text{ m}$, $h_1 = 4.0 \text{ m}$, $h_2 = 2 \text{ m}$ bo'lsa:

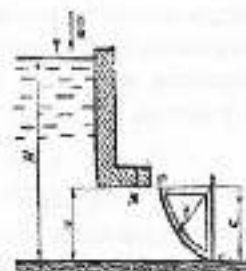
2) Rezervuar tubiga ta'sir etayotgan manometrik bosim kuchini aniqlang;

3) 4m devorga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini aniqlang (2.47-rasm).

4) Kengimli darvoza bilan oqim to'silgan. Darvoza oldidagi suv sathi $H = 1 \text{ m}$, darvoza eni $b = 4 \text{ m}$, radiusi $R = 4 \text{ m}$. Darvozaga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini aniqlang (2.48-rasm).



2.47-rasm.



2.48-rasm.

5) Benzin rezervuarining yon tomoniga o'rnatilgan qopqog'i yarim sfera shaklida. Rezervuar qopqog'iga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini hisoblash kerak, agar

$$H = 2.0 \text{ m}; d = 0.5 \text{ m}; \rho = 700 \text{ kg/m}^3; P_g = 102 \text{ kPa bo'lsa.}$$

2.15. Arximed qonuni

Suyuqlikka tushirilgan jismlarning qay yo'sinda harakat qilishi va qanday holatlarni qabul qilishini tekshirish uchun ularning suyuqlik bilan ta'sirlashish va muvozanat qonunlarini o'rganish kerak. Bu qonuniyatlar eramizdan 250 yil avval kashf qilingan Arximed qonuniga asoslanadi. Bu qonun asosida kemalar nazariyasi yaratilgan bo'lib, ular L. Eyler, S. A. Mukarov va A. N. Krilov asarlarida ifodalangan. Arximed qonuni quyidagicha ifodalaniladi: *suyuqlikka botirilgan jasmga siqib chiqaruvchi*

kuch ta'sir qilib, bu kuchning kattaligi botirilgan jism siqib chiqaruvchi suyuqlik og'irligiga teng bo'ladi.

Bu qoidani isbotlash qiyin emas. Suyuqlikka V hajmli jism botirilgan bo'lsin (2.40-rasm). Unga ta'sir etuvchi kuchlar quyidagilar bo'ladi:

- 1) jismga yuqoridan ta'sir etuvchi bosim kuchi

$$P_1 = \gamma H_1 \omega$$

- 2) jismga pastdan ta'sir etuvchi bosim kuchi

$$P_2 = \gamma H_2 \omega$$

- 3) pastga yo'nalgan og'irlik kuchi

$$G = \gamma_1 \Delta H \omega = \gamma_1 V$$

4) jismga yon tomonlaridan ta'sir etuvchi kuch P_H ; gidrostatikaning asosiy qonuniga asosan bu kuchlar teng va qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, o'zaro muvozanatlashadi (teng ta'sir etuvchi kuch nolga teng). Bu holda bosim kuchlarining teng ta'sir etuvchisi P_1 , va P_2 kuchlarning ayirmisiga teng bo'lib, yuqoriga yo'nalgan bo'ladi:

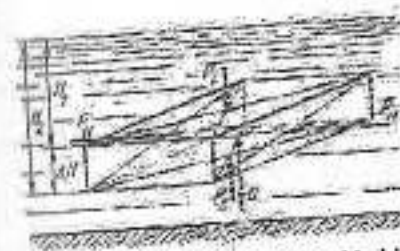
$$P = P_2 - P_1 = \gamma \omega (H_2 - H_1) = \gamma \omega \Delta H. \quad (2.33)$$

Bu yerda: γ va γ_1 - suyuqlik va jismning solishtirma og'irliklari; H_1 - jismning yuqori qismining chuqurligi; H_2 - jismning pastki qismining chuqurligi; ΔH - jismning balandligi; ω - jismning yuqori va pastki sirlarining yuzasi.

Jismning hajmi $V = \Delta H \omega$ bo'lgani uchun siqib chiqaruvchi kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$P = \gamma V \quad (2.34)$$

Shunday qilib, jismni siqib chiqarishiga harakat qilayotgan kuch jism siqib chiqargan suyuqlikning og'irligiga teng ekanligi isbotlandi. Bu kuch botirilgan jismning qancha chuqurlikda bo'lishiga bog'liq emasligi (2.43) dan ko'rinib turibdi. Arximed qonuni yopiq va ochiq idishlarda suyuqlik sirtida suzib yuruvchi jismlar uchun ham, uning ichidagi jismlar uchun ham to'g'ridir. Faqat suyuqlik sirtidagi jismlar uchun uning sarg'ina botirilgan qismiga qo'llaniladi.



2.40-rasm. Arximed qonuniga oid chizma.

2.16. Jismlarning suyuqlikda suzishi. Suzuvchanlik

Jismlarning suyuqlik sirtiga qalqib chiqishi yoki suyuqlik ichida suzib yurishi yuqorida aytilgan kuchlarning o'zaro nisbatiga bog'liq. Shuning uchun suyuqlikka botirilgan jismlarga ta'sir etuvchi kuchlarning (2.41-rasm) teng ta'sir etuvchisini topamiz:

$$R = -P_1 + P_2 - G = -\gamma_1 H_1 \omega + \gamma H_2 \omega - \gamma_1 V$$

yoki

$$R = \gamma (H_2 - H_1) \omega - \gamma_1 V.$$

Bu kuchni ko'taruvchi kuch deb ataladi.

$\Delta H = H_2 - H_1$ va $\Delta H \omega = V$ ekanligini hisobga olsak, teng ta'sir etuvchi ko'taruvchi kuch

$$R = (\gamma - \gamma_1) V. \quad (2.35)$$

Oxirgi munosabatdan quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1. Agar $\gamma > \gamma_1$ bo'lsa, ya'ni jismning solishtirma og'irligi suyuqlikdan kam bo'lsa, ko'taruvchi kuch R musbat bo'ladi (yuqoriga yo'nalgan). Bu holda jism suyuqlik sirtida qalqib yuradi.
2. Agar $\gamma = \gamma_1$ bo'lsa, ya'ni jism bilan suyuqlik solishtirma og'irliklari teng bo'lsa, u holda $R = 0$, ya'ni jism suyuqlik ichida suzib yuradi.
3. Agar $\gamma < \gamma_1$ bo'lsa, u holda ko'taruvchi kuch manfiy (pastga yo'nalgan) bo'ladi va jism suyuqlik tubigacha cho'kadi.

(2.45) dan jismlarning suyuqlikda suzuvchanligi, ya'ni ma'lum yuk bilan suzib yurish qobiliyati to'g'risida xulosa chiqarish mumkin. Har qanday qalqib yuruvchi jism suzuvchanlik imkoniyatiga ega bo'lib, bu uning suzib yurishidagi xavfsizligini ta'minlaydi. Suzuvchanlik imkoniyati

jistuning suyuqlik sirtidan yuqori qismining hajmidagi suyuqlik og'irlik teng.

Suzuvchaulik imkoniyati P_c bilan belgilanadi va quyidagicha topiladi:

$$P_c = \frac{R}{r} = \frac{Z - r_1}{r} V.$$

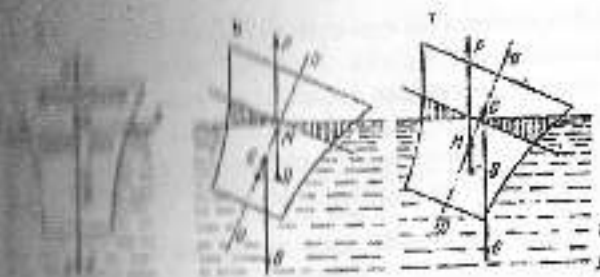
Suzuvchi jistuning qancha qismi suvga botib turishi va suzishiga taalluqli boshqa qonuniyatlar ma'lum bo'lib, biz ular haqida to'xtalib o'tishimizga hojat yo'q.

Suzib yuruvchi jism hajida yana quyidagi tushunchalarni keltiramiz:

1. *Suzish tekisligi* – jismni kesib o'tuvchi erkin sirt AB.
2. *Vater chiziq* – suzish tekisligi bilan jism sirtining kesishish chiziqi.
3. *Suzayotgan jismning og'irlik markazi* (2.42-rasmda C nuqta).
4. *Suv sig'imi markazi yoki bosim markazi* (2.42-rasmda D nuqta). Bu yerda suv sig'imi – jismning suvga holgan qismi. Suv sig'imi markazi jismning suyuqlikka botgan qismiga ta'sir etuvchi bosimning teng ta'sir etuvchisi qo'yilgan nuqta bo'lib, u suvga botgan qismning og'irlik markaziga joylashgan.
5. *Suzish o'qi* – suzayotgan jism normal holatida uning o'tasidan o'tgan O-O'qi (2.41-rasm, a).
6. *Metamarkaz* – jismning qiya holatida teng ta'sir etuvchi bosim kuchi yo'nalishining suzish o'qi bilan kesishgan nuqtasi (2.42-rasm, b, v). Suzayotgan jismning og'irlik markazi C u qiyalashganda ham o'zgarmaydi. Suv sig'imi markazi D esa jism qiyaligining har xil holatida har xil bo'ladi. Qiyalik burchagi 15° gacha bo'lganda D taxminan radiusi biror r ga teng bo'lgan aylana yoyi ho'yicha siljib boradi va bu radius D va M orasidagi masofaga teng bo'lib, metamarkaziy radius deyiladi. M va C orasidagi masofa metamarkaziy balandlik deyiladi va h harfi bilan belgilanadi.

Suyuqlikda suzayotgan jismning qiyalangandan keyin yana avvalgi holatiga, qaytishi *turg'unlik* deyiladi. Bu tushunchaning to'liq mazmunini tushuntirish uchun quyidagilarga to'xtalib o'tamiz.

Normal holatda (2.42-rasm, a) og'irlik markazi va suv sig'imi markazi suzish o'qida yotadi. Og'irlik kuchi G va bosim P esa suzish o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Suzayotgan jism qiyshayishi bilan G va P kuchlar moment hosil qiladi. Bu moment jism qiyalangan tomon yo'nalishida yoki unga teskari bo'lishi mumkin.



2.42-rasm. Suzib yuruvchi jismlarning turli holatlari.

Agar G va P kuchlarning momenti jism qiyalangan tomonga teskari bo'lsin, u tiklovchi moment deyiladi. Bunday holat esa *turg'unlik* deyiladi. Agar moment jism qiyalangan tomonga bo'lsa, uni tiklovchi moment deyiladi. Bu holda jism avvalgi holatiga qaytmaydi. G va P kuchlarning momentining yo'nalishi bu kuchlarning qo'yilish nuqtalari, ya'ni og'irlik markazi C bilan suv sig'imi markazi D ning o'zaro holatiga bog'liq. Bunda uch hol bo'lishi mumkin:

- 1) agar metamarkaz og'irlik markazidan yuqorida bo'lsa (2.42-rasm, a), G va P kuchlarning momenti jismni normal holatga qaytaradi, ya'ni jism *turg'un* holatda bo'ladi;
- 2) agar metamarkaz og'irlik markazidan pastda bo'lsa (2.42-rasm, b), G va P kuchlarning momenti jismni ag'darishga harakat qiladi, ya'ni jism *turg'un* holatda bo'ladi;
- 3) agar metamarkaz og'irlik markazi ustiga tushsa, u holda suyuqlikda suzayotgan jism holati *turg'unlik*ka bog'liq bo'lmaydi (masalan, shar uchun). *Turg'unlik*ka bog'liq boshqa masalalar ustida to'xtalib o'tmaymiz.

2.17. Nisbiy tinchlik

Biz yuqorida ko'rganimizdek, suyuqlik og'irlik kuchi ta'sirida muvozanatda turishi mumkin. Bu hol yerga nisbatan tinch turgan yoki har qanday chiziqli tekis harakat qilayotganda idishda muvozanatda bo'lgan suyuqlikka tegishlidir. Gidrostatikadagi barcha masalalar shu holat uchun ko'rilgan.

Agar idish notekis yoki egri chiziqli harakat qilayotgan bo'lsa, u holda suyuqlik zarrachalariga og'irlik kuchidan tashqari nisbiy harakatning inertsia kuchi yoki markazdan qochirma kuchlari ta'sir qiladi. Bu kuchlar vaqt davomida o'zgarmasa, ular ta'sirida suyuqlik muvozanat holatini qabul qiladi, ya'ni idish devorlariga nisbatan harakatsiz bo'lib qoladi. Suyuqliklarning bunday muvozanat holati nisbiy tinchlik deyiladi.

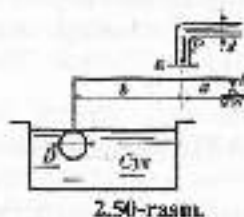
Nisbiy tinchlikda bosimi teng sirtlar va erkin sirt tinch turgan idishdagi gorizontall tekisliklar oilasidan iborat bo'lgan bunday sirtlardan butunlay farq qiladi. Bu hollarda ta'sir etuvchi massa kuchlar bosimi teng sirtlarga tik yo'nalgan bo'ladi.

Nisbiy tinchlikda Eyer tenglamasining integrallarga bag'ishlangan paragrafdagi to'g'ri chiziqli va tekis tezlanuvchan idishdagi suyuqlik muvozanati (ikkinchi masala) va vertikal o'q atrofida aylanayotgan idishdagi suyuqlik haqidagi (uchinchi masala) qismlarini misol qilib olish mumkin.

Bu holda massa kuchlarning teng ta'sir etuvchisi inertsia kuchi va og'irlik kuchining yig'indisidan iborat bo'ladi (ularning proektsiyalari yuqorida ko'rilgan).

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

3. Quvurdagi manometrik bosim P miqdorining qaysi qiymatida K jo'mrak ochiladi, agar quvur diametri $d = 5$ mm, sharning diametri $D = 200$ mm bo'lib, $b = 6a$ ga teng bo'lsa, shar og'irligi hisobga olinmasin (2.43-rasm).



2.50-rasm.

Yechim:

0 nuqtaga nisbatan sistemaga ta'sir etayotgan kuchlardan kuch momentini olamiz:

$$F_1(a+b) - F_2 \cdot a = 0$$

Bu holda F_1 - Arkimed kuchi:

$$F_1 = \gamma \cdot W; F_2 = F \cdot \frac{\pi d^2}{4} = m \cdot 0,785 \sigma^2$$

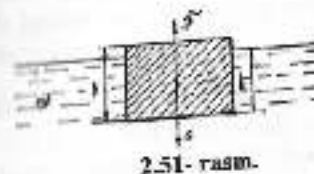
Aniqlangan hadlarni tenglamaga qo'yib, bosim miqdorini aniqlaymiz:

$$P = 146,496 \frac{N}{m^2}$$

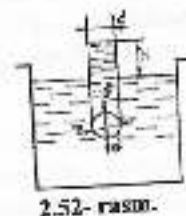
Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Suvdagi prizmasimon jismning hajmiy og'irligini aniqlang. Uning balandligi $H = 20$ sm va suyuqlikka cho'kkan qismi $h = 16$ sm (2.44-rasm).

2. Suvga to'la cho'kkan sharsimon klapan diametri $d = 100$ mm bo'lgan quvur teshigini berkitadi. Sharning diametri $D = 150$ mm va massasi $m = 0,5$ kg bo'lsa, quvurdagi suyuqlik sathining qaysi balandligida klapan ochila boshlaydi (2.45-rasm).



2.51-rasm.



2.52-rasm.

3. Quyida o'lchami ko'rsatilgan brusning hajmiy og'irligini toping: $b = 30$ sm, $h = 20$ sm, $l = 100$ sm, suyuqlikka cho'kkan qismi $y = 16$ sm.

4. Og'irligi 40 kN bo'lgan avtomobilni daryodan o'tkazish uchun cho'p g'o'lalardan sol qurildi. Agar g'o'lalarning diametri $d = 0,3$ m va uzunligi $l = 6$ m va zichligi $\rho_T = 800$ kg/m³ bo'lsa, avtomobilni soldan o'tkazish uchun necha dona g'o'la kerakligini aniqlang.

5. Temir-beton «plita» ning havodagi og'irligi 1500 kN, suvdagi og'irligi 800 kN bo'lganda, «plita»ning zichligini aniqlang.

6. O'lchamlari 60x60x20 sm bo'lgan muz suvda suzmoqda. Muzning zichligi $\rho_r = 900 \text{ kg/m}^3$. Agar muz erisa, idishdagi suv sathi qanchaga o'zgaradi?

II bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari tushuntirib.
2. Bosimni teng sirtlar. Erkin sirt.
3. Qanday kuchga gidrostatik bosim kuchi deyiladi?
4. Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim.
5. Arximed qonuniga oid chizma.
6. Jismlarning suyuqlikda suzishi. Suzuvchanlik.
7. Gidrostatik mashinalarning qanday turlari mavjud?
8. Metamarkaz nuqta haqida tushuncha bering.

III BOB. SUYUQLIKLAR KINEMATIKASI VA DINAMIKASI ASOSLARI.

SUYUQLIKLARDA HARAKAT TURLARI

Gidravlikaning suyuqliklar harakat qonunlari va ularning harakatlanayotgan yoki harakatsiz qattiq jismlar bilan o'zaro ta'sirini o'zgaruvchi bo'limi gidrodinamika deyiladi.

Harakatlanayotgan suyuqlik vaqt va koordinata bo'yicha o'zgaruvchi barcha parametrlarga ega bo'lgan harakatdagi moddiy nuqtalar to'plamidan iborat. Odatda suyuqlikni o'zi egallab turgan fazoni butunlay to'ldiruvchi harakatli jisim deb qaraladi. Bu degan so'z tekshirilayotgan fazoning istalgan nuqtasini olsak, shu yerda suyuqlik zarrachasi mavjuddir. Gidrostatikada asosiy parametr bosim edi, gidrodinamikada esa bosim va tezlikdir.

3.1. Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari

Suyuqlik harakat qilayotgan fazoning har bir nuqtasida shu nuqtaga tegishli tezlik va bosim mavjud bo'lib, fazoning boshqa nuqtasiga o'tsak, tezlik va bosim boshqa qiymatga ega bo'ladi, ya'ni tezlik va bosim koordinatalar x, y, z ga bog'liq. Nuqtadagi suyuq zarrachaga ta'sir qilayotgan bosim va tezlik vaqt o'tishi bilan o'zgarib borishini tabiatda kuzatish mumkin.

Tezlik va bosim maydonlari. Suyuqlik harakat qilayotgan fazoning har bir nuqtasida hayolan tezlik va bosim vektorlarini ko'rib chiqsak, ko'rilayotgan harakatga mos keluvchi tezlik va bosim to'plamlarini ko'z oldimizga keltira olamiz. Ana shu usul bilan tuzilgan tezlik to'plami *tezlik maydoni* deyiladi. Shuningdek, bosim vektorlaridan iborat to'plam *bosim maydoni* deb ataladi. Tezlik va bosim maydonlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib boradi. Gidrostatikadagi kabi gidrodinamikada ham gidrodinamik bosimni p bilan belgilaymiz va uni sodda qilib bosim deb ataymiz. Tezlikni esa u bilan belgilaymiz. U holda tezlikning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari u_x, u_y, u_z bo'ladi.

Yuqorida aytib o'tilganga asosan suyuqlik parametrlari funktsiya ko'rinishida yoziladi

$$\begin{aligned} p &= p(x, y, z, t) \\ u &= u(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

tezlik proyeksiyalari ham funktsiyalardir;

$$u_x = f_1(x, y, z, t)$$

$$v_y = f_2(x, y, z, t)$$

$$w_z = f_3(x, y, z, t)$$

Bu keltirilgan funksiyalarni aniqlash va ular o'rtasidagi o'zaro bog'lanishlar loyish gidrodinamikaning asosiy masalasi hisoblanadi.

Harakat turlari. Harakat vaqtida suyuqlik oqayotgan fazoning har bir nuqtasida tezlik va bosim vaqt o'tishi bilan o'zgarib tursa, bunday harakat *beqaror harakat* deyiladi. Tabiatda daryo va kanallardagi suvning harakatlari, texnikada quvurlardagi suyuqlikning harakati va mexanizmlar qismlaridagi harakatlilar asosan boshlanganda va ko'p hollarda butun harakat davomida beqaror bo'ladi. Agar suyuqlik oqayotgan fazoning har bir nuqtasida tezlik va bosim vaqt bo'yicha o'zgarmay faqat koordinatalarga bog'liq, ya'ni

$$\begin{aligned} p &= f_1(x, y, z) \\ u &= f_2(x, y, z) \end{aligned} \quad (3.2)$$

bo'lsa, u holda harakat *barqaror* deyiladi. Bu hol quvurlarda va kanallarda suyuqlik ma'lum vaqt oqib turganidan keyin yuzaga kelishi mumkin. Barqaror harakat ikki tur bo'lishi mumkin: *tekis va notekis harakatlilar*. Suyuqlik zarrachasi harakat yo'nalishi bo'yicha vaqt o'tishi bilan harakat fazosining bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga o'tganda tezligi o'zgarib borsa, harakat notekis harakat bo'ladi. Notekis harakat vaqtida suyuqlik ichida bosim va boshqa gidravlik parametrlar o'zgarib boradi. Notekis harakatni kesimi o'zgarib borayotgan shisha quvurda kuzatish juda qulaydir.

Bordiyu suyuqlik zarrachasi harakat yo'nalishi bo'yicha vaqt o'tishi bilan harakat fazosining bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga o'tganda tezligini o'zgartirmasa, bunday harakat tekis harakat deyiladi. Tekis harakat vaqtida suyuqlikning gidravlik parametrlari o'zgarmaydi. Tekis harakatga kesimi o'zgarmaydigan quvurlardagi suyuqlikning va qiyaligi bir xil kanallardagi suv oqimi misol bo'la oladi.

Suyuqlik oqimining naporti va naporsiz harakati, g'ohida bu tushunchalar shartli bosimli va bosimsiz harakatlilar deb ham qabul qilingan.

Naporti harakat vaqtida suyuqlik har tomondan devorlar bilan o'ralgan bo'lib, erkin sirt bilan chegarasi bo'lmaydi. Bunday harakatga naporti idishdan quvurga o'tayotgan suyuqlik harakati misol bo'ladi.

Naporsiz harakat vaqtida suyuqlik faqat og'irlik kuchi ta'sirida harakat qilib erkin sirtga ega bo'ladi. Bunday harakatga daryolardagi, kanallardagi suvning va quvurlardagi to'lmashdan oqayotgan suyuqlikning harakatlari misol bo'la oladi.

harakati harakat. Suvyali harakat vaqtida suyuqlik faqat havo bilan chegaralangan bo'ladi.

3.1. Oqimchali harakat haqida asosiy tushunchalar. Oqim chizig'i, oqim naychasi va oqimcha. Suyuqlik oqimlari

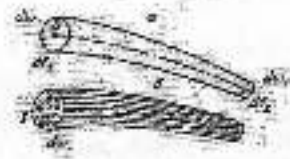
Ushunda, biror voqea yoki hodisani tekshirishda uni butunligicha tekshirib bo'lmagani uchun biror soddalashtirilgan sxema qabul qilinadi va ana shu sxema tekshiriladi. Gidravlikada suyuqlik harakati qonuniyatlarining tabiatini yanada ifodalab beruvchi sxema suyuqlik oqimini elementar oqimchalardan iborat deb qarovchi sxema hisoblanadi. Buni gidravlikada "suyuqlik harakatining oqimchali modeli" deb ataladi. Bu model asosida oqim chizig'i, oqim naychasi va oqimcha tushunchalari yotadi.

a) Oqim chizig'i – suyuqlik harakat qilayotgan fazoda suyuqlikning biror zarrachasining harakatini kuzatsak, uning vaqt o'tishi bilan fazoda harakatlanib keyin olgan holatlarini 1, 2, 3... (3.1-rasm, a) nuqtalar bilan ifodalash mumkin va bu nuqtalarda harakatdagi zarracha (3.1) va (3.2) ga mos har xil tezlik va bosimlarga ega bo'ladi. Shu nuqtalarni o'zaro birlashtirib, suyuqlik zarrachasining trayektoriyasi hosil bo'ladi.

Endi, suyuqlik zarrachasining tezligini kuzatamiz. Zarrachaning A nuqtadagi tezlik vektori u_A ni ko'rilayotgan vaqt uchun quramiz, shu vektorning davomida kichik dl_1 masofadagi B nuqtada harakatdagi suyuqlik zarrachasining B nuqtaga tegishli tezlik vektori u_B ni quramiz. Hosil bo'lgan yangi vektorning davomida kichik dl_2 masofadagi C nuqtada shu nuqtaga tegishli zarracha tezligining vektori u_C ni quramiz. u_D vektorining davomida dl_3 masofadagi D nuqtada shu nuqtaga tegishli zarracha tezligining u_D vektorini quramiz va h. k. Natijada ABCDE (3.2-rasm, b) siniq chiziqli hosil qilamiz. Agar dl_1, dl_2, dl_3 larini cheksiz kichraytirib borib, nolga intilsin, ABCDE o'rnida biror egri chiziqli olamiz. Bu egri chiziqli oqim chizig'i deb ataladi.



3.1-rasm. Oqim chizig'ini tushuntirishga old chizma.



3.2-rasm. Oqim naychasi, elementar oqimcha va oqim.

Demak, suyuqlik harakatlanayotgan fazoda olingan va berilgan vaqt har bir nuqtasida unga o'tkazilgan urinma shu nuqtaga tegishli tezlik vektor yo'nalishiga mos keluvchi egri chiziq oqim chizig'i deb ataladi. Beqaror harakat vaqtida tezlik va uning yo'nalishi vaqt davomida o'zgarib turgan uchun trayektoriya bilan oqim chizig'i bir xil bo'lmaydi. Barqaror harakat vaqtida esa tezlik vektorining nuqtalardagi holati vaqt o'tishi bilan o'zgarmagani uchun trayektoriya bilan oqim chizig'i ustma-ust tushadi.

Oqim naychasi va elementar oqimcha. Endi, suyuqlik harakatlanayotgan sohada, biror D nuqta olib, shu nuqta atrofida cheksiz kichik $d\Gamma$ kontur olamiz va shu konturning har bir nuqtasidan oqim chizig'i o'tkazamiz. U holda oqim chiziqlari oqim naychasi, deb ataluvchi naycha hosil qiladi (3.1-rasm, a). Oqim naychasi ichida oqayotgan suyuqlik oqim elementar oqimcha deb ataladi. Elementar oqimchalar barqaror harakat vaqtida quyidagi xususiyatlarga ega.

1. Oqim chiziqlari vaqt o'tishi bilan o'zgarmagani uchun ulardan tashkil topgan elementar oqimcha o'z shaklini o'zgartirmaydi.

2. Bir oqimchada oqayotgan suyuqlik zarrachasi boshqa yonma-yon oqimchalarga o'ta olmaydi. Shuning uchun elementar oqimchalarning yon sirti oqimcha ichidagi zarrachalar uchun ham, tashqaridagi zarrachalar uchun ham o'tkazmas sirt bo'ladi.

3. Elementar oqimcha ko'ndalang kesimi cheksiz kichik bo'lgani uchun bu kesimdagi barcha nuqtalarda suyuqlik zarrachalarining tezligi o'zgarmasdir.

Endi biror ω yuza olib, uni cheksiz ko'p da_1, da_2, da_3 elementar yuzalarga ajratish mumkin (3.2-rasm, b). Shuning uchun yuzadan oqib o'tayotgan suyuqlik oqmasi cheksiz ko'p elementar oqimchalardan tashkil topgan bo'ladi va har bir elementar oqimchada suyuqlik tezligi boshqa elementar oqimchalardagidan farq qiladi.

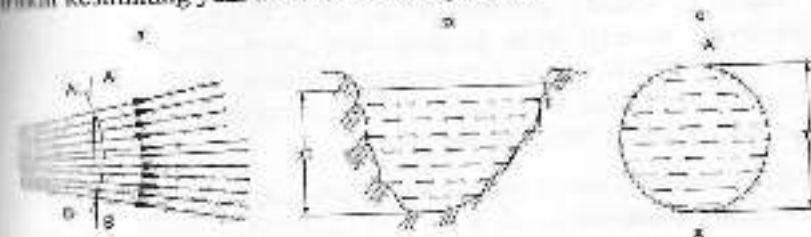
3.3. Oqimning asosiy gidravlik elementlari

Suyuqlik oqimini tekshirishda oqish qonunlarini matematik ifodalash uchun uni gidravlik va geometrik nuqtai nazardan xarakterlovchi; 1) harakat kesimi; 2) suyuqlik sarfi; 3) o'rtacha tezlik; 4) ho'llangan perimetr; 5) gidravlik radius kabi tushunchalar kiritiladi.

Harakat kesimi deb shunday sirtga aytiladiki, uning har bir nuqtasida oqim chizig'i normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Umumiy holda harakat

kesimi egri sirt bo'lib (3.3-rasm a), parallel oqimchali harakatlar uchun tekislikning bo'lagidan iborat (ya'ni tekis sirt) (3.3-rasm, b, c).

Masalan, radial tarqalayotgan suyuqlik oqimi uchun harakat kesimi sirt bo'lsa (3.3-rasm, a) o'zanda va quvurda harakat qilayotgan oqimning harakati kesimi tekis sirt (3.3-rasm, b, c). Shunga asosan parallel oqimchali harakatga ega bo'lgan oqimlarning harakat kesimi uchun quyidagicha ta'rif berish mumkin: *oqimning umumiy oqim yo'nalishiga normal bo'lgan ko'ndalang kesimi harakat kesimi* deb ataladi. Oqim harakat kesimining yuzi ω harfi bilan belgilanadi.



3.3-rasm. Harakat kesimiga oid chizma.

Vaqt birligida oqimning berilgan harakat kesimi orqali oqib o'tayotgan suyuqlik miqdori suyuqlik sarfi deb ataladi. Sarf Q harfi bilan belgilanadi va l/s , m^3/s , sm^3/s larda o'lchanadi. Elementar yuza bo'yicha sarfni dq bilan, birlik yuza bo'yicha sarfni q bilan belgilanadi. 3.4-rasmida quvurdagi (a) va kanaldagi (b) oqimlar uchun tezlik epyuralari keltirilgan. Tezlik suyuqlik oqayotgan idish devorlarida nolga teng bo'lib, devordan uzoqlashgan sari kattalashib borishi rasmdan ko'rinib turibdi. Quvurda tezlikning eng katta qiymati uning o'rtasida bo'lsa, kanalda erkin sirtga yaqin yerda bo'ladi. Ixtiyoriy elementar oqimcha uchun elementar sarf $dQ = \omega dq$ ga teng. Oqim cheksiz ko'p elementar oqimchalardan tashkil topgani uchun elementar sarflarning yig'indisi, ya'ni butun oqimning sarfi integral ko'rinishda ifodalanadi:

$$Q = \int_{\omega} \omega dq, \quad (3.3)$$

bu yerda ω – harakat kesimi; $d\omega$ – harakat kesimining elementar oqimchaga tegishli bo'lagi.

Suyuqlik zarrachalarining hammasi bir xil tezlik bilan harakatlanganda bo'ladigan sarf, haqiqiy harakat vaqtidagi sarfga teng bo'ladigan tezlik o'rtacha tezlik deb ataladi. 3.4-rasm, a, b larda haqiqiy

tezlik epyurasi punktir chiziq bilan chizilib, punktirli strelkalarining uchini birlashtiradi. O'rtacha tezlik epyurasi tutash chiziqlar bilan chizilgan bo'lib, tutash strelkalar uchini birlashtiradi. O'rtacha tezlik ϑ harfi bilan belgilanadi va sarfni harakat kesimiga bo'lish yo'li bilan topiladi:

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{\int u d\omega}{\omega} \quad (3.4)$$

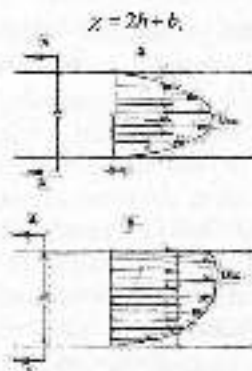
Bunda suyuqlik sarfi o'rtacha tezlik orqali quyidagicha ifodalaniladi:

$$Q = \vartheta \omega. \quad (3.5)$$

Oqma ko'ndalang kesimini (erkin sirtini hisobga olmaganda) uni chegaralovchi devorlar bilan tutashtiruvchi chiziq perimetri ho'llangan perimetr deb ataladi. Oqim ko'ndalang kesimining ho'llanmagan qismi ho'llangan perimetrga kirmaydi va uni hisoblashda chiqarib tashlanadi. Ho'llangan perimetr χ harfi bilan belgilanadi.

Turli shakldagi nov (kanal) lar va quvurlar uchun ho'llangan perimetr quyidagicha hisoblanadi:

to'g'ri to'rtburchak nov uchun (3.4-rasm, a):



3.4-rasm. Suyuqlik sarfi va o'rtacha tezlikka doir chizma.

bu yerda h - suyuqlik chuqurligi; b - nov (kanal)ning kengligi; trapetsiadal nov uchun (3.4-rasm, b).

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2},$$

bu yerda $m = \text{ctgr} \alpha$ - qiyalik koeffitsiyenti;

uchburchak novlar uchun (1.32-rasm, v):

$$\chi = 2h\sqrt{1+m^2}$$

silindrik quvurlar uchun (1.32-rasm g) suyuqlik to'lib oqqanda

$$\chi = \pi d = 2\pi r;$$

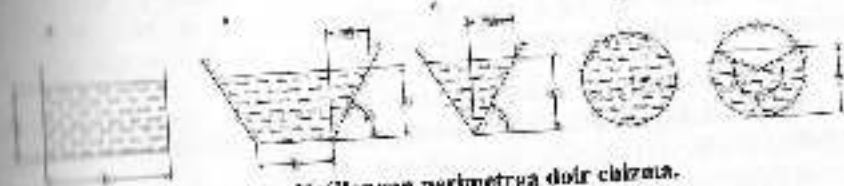
suyuqlik to'lmay oqqanda (1.32-rasm, d)

$$\chi = \frac{\varphi \pi d}{360},$$

bu yerda φ - markaziy burchak; d - quvurning ichki diametri; r - quvurning ichki radiusi.

Oqim harakat kesimi ω ning ho'llangan perimetri χ ga nisbati silindrik radiusi deb ataladi va R bilan belgilanadi, ya'ni:

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (3.6)$$



3.5-rasm. Ho'llangan perimetrga doir chizma.

To'g'ri to'rtburchak novlar uchun:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{hb}{2h+b} \quad (3.7)$$

Trapetsiadal novlar uchun

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h(mh+b)}{b+2h\sqrt{1+m^2}} \quad (3.8)$$

Uchburchak novlar uchun

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{mh^2}{2h\sqrt{1+m^2}} = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}} \quad (3.9)$$

Silindrik quvurlar uchun:

$$\text{suyuqlik to'lib oqqanda} \quad R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\pi d}{2} = \frac{r}{2} \quad (3.10)$$

suyuqlik to'lmay oqqanda

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\frac{d^2}{8} \left(\frac{\varphi \pi}{180} - \sin \varphi \right)}{\frac{\varphi \pi d}{360}} = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{180 \sin \varphi}{\varphi \pi} \right) \quad (3.11)$$

3.4. Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi

Yuqorida aytib o'tilganidek, gidravlikada suyuqliklar tutash muhiti deb qaraladi (ya'ni harakat fazosining istalgan nuqtasida suyuqlik zarrachasini topish mumkin). Elementar oqimcha va oqim uchun uzilmaslik tenglamasi suyuqlikning tutash oqimi (ya'ni har bir harakatdagi zarrachaning oldida va ketida cheksiz yaqin masofada albatta yana bitta zarracha mavjudligi) ning matematik ifodasi bo'lib xizmat qiladi. Suyuqlikning barqaror harakatini ko'ramiz.

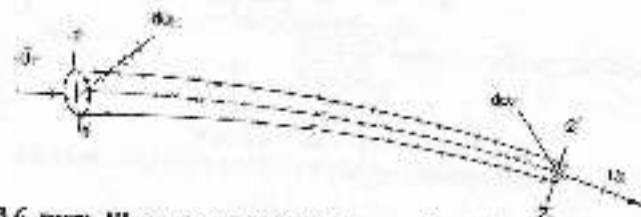
Elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasini chiqaramiz. Oqimda harakat o'qi 1-1 bo'lgan elementar oqimcha olamiz va uning 1-1 va 2-2 kesimlari orasidagi bo'lagini tekshiramiz (3.6-rasm). 1-1 kesimdagi yuza $d\omega_1$, tezlik u_1 , 2-2 kesimdagi yuza $d\omega_2$, tezlik u_2 bo'lsin va bu kesimlarda tegishli elementar surlar $q_1 = u_1 d\omega_1$ va $q_2 = u_2 d\omega_2$ ga teng bo'lsin.

Bu holda 1-1 va 2-2 kesimlar orqali o'tuvchi elementar surlar teng bo'ladi:

$$q_1 = q_2 \quad (3.12)$$

Buni isbotlash uchun quyidagi ikki holni ko'ramiz:

1). $q_1 > q_2$ bo'lsin. Bu holda 1-1 va 2-2 kesimlar o'rtasida suyuqlik to'planishi yoki elementar oqimcha devorlari orqali tashqariga chiqishi mumkin degan xulosa chiqadi. Biroq yuqorida aytilganidek, elementar oqimcha devorlaridan suyuqlik o'tmaydi va uning ko'ndalang kesimlari o'tkazmasdir.



3.6. rasm. Elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasini chiqarishga oid chizma.

Demak, bunday taxmin noto'g'ri ekanligi ko'rinib turibdi.

2) $q_1 < q_2$ bo'lsin. Bu holda 1-1 va 2-2 kesimlari orasida qayerdandir suyuqlik qo'shilib turishi yoki elementar oqimcha devorlari orqali ichkariga

qo'shilib turak. Yuqoridagiga asosan bunday taxmin ham noto'g'ri ekanligi ko'rinadi. Shunday qilib, (3.12) tenglik to'g'ri ekanligi isbotlandi.

Elementar surlar tengligidan quyidagi kelib chiqadi:

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 \quad (3.13)$$

1-1 va 2-2 kesimlar ixtiyoriy tanlab olinganligi uchun elementar oqimchaning solilagan kesimi uchun elementar surf teng bo'ladi, ya'ni

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 = u_3 d\omega_3 = \dots = u_n d\omega_n = \text{const}$$

(3.13) tenglama elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasi deb ataladi. Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, elementar oqimchanning barcha kesimlarida elementar surf bir xildir. (3.13) tenglamani quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{d\omega_2}{d\omega_1}$$

Bundan elementar oqimchanning ixtiyoriy ikkita kesimidagi tezliklar bu kesimlar yuzasiga teskari proporsional ekanligi kelib chiqadi.

Oqim uchun uzilmaslik tenglamasini chiqaramiz. Buning uchun elementar oqimcha uchun olingan uzilmaslik tenglamasidan foydalanamiz. Oqim surfi cheksiz ko'p oqimchalar surfining yig'indisidan iborat ekanligini (3.6-rasm) nazarga olib, (3.13) tenglamaning chap va uнг qismini ω_1 va ω_2 yuzalar bo'yicha olingan integrallar bilan almashtiramiz

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2$$

(3.13) tenglamaga asosan

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \oint \rho \omega_1; \quad \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2 = \oint \rho \omega_2$$

bo'ladi. Shuning uchun

$$\oint \rho \omega_1 = \oint \rho \omega_2 \quad (3.14)$$

Tanlab olingan 1-1 va 2-2 kesimlar ixtiyoriy bo'lgani uchun

$$\oint \rho \omega_1 = \oint \rho \omega_2 = \dots = \oint \rho \omega_n = \text{const}$$

Bu oqim uchun uzilmaslik tenglamasidir. Undan ko'rinadiki, oqimning yo'nalishi bo'yicha ko'ndalang kesimlarning yuzasi va tezligi o'zgarib borishi mumkin. Lekin surf o'zgarmaydi. (3.14) tenglamani quyidagicha ta'riflash va yozish mumkin, ya'ni oqimning kesimlaridagi o'rtacha tezliklar tegishli kesimlarning yuzalariga teskari proporsionaldir:

$$\frac{\bar{u}_1}{\bar{u}_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

3.5. Ideal suyuqliklar uchun harakat tenglamasi. Suyuqlik harakati uchun Eyler tenglamasi

Yuqorida biz ideal va real suyuqliklar tushunchasi haqida to'xtalib ularning bir-biridan farqini ko'rsatuvchi asosiy kattalik ichki ishqalanish kuchi ekanligini aytib o'tdik. Keyinchalik ichki ishqalanish kuchi tezlik gradiyentiga bog'liq bo'lishini ta'kidladik.

Gidrostatika bo'limida suyuqliklar muvozanat holatining tenglamasini chiqarganimizdek, ularning harakati uchun ham umumiydosh tenglamani chiqarishimiz mumkin. Quyida biz ideal suyuqliklar uchun shunday tenglama chiqarish bilan shug'ullanamiz. Suyuqlik harakat qilayotgan fazoda tomonlari dx , dy , dz bo'lgan elementar hajm ajratib olamiz (3.6-rasimga qarang). U holda hajmga Ox , Oy , Oz o'qlari yo'nalishida ta'sir etuvchi kuchlar gidrostatikada suyuqliklar asosiy tenglamasini chiqarganimizdagidek ifodalanadi. Bu yerda farq suyuqlik harakatda bo'lganligi uchun bosim kuchlaridan tashqari inertsia kuchlari ham mavjudligidir. Shuning uchun gidrostatikada suyuqlikning muvozanat shartlaridan foydalangan bo'lsak, bu yerda Dalmber prinsipidan foydalanamiz. U holda birlik massaga ta'sir etuvchi inertsia kuchlarining teng ta'sir etuvchisi x , y va z o'qlariga quyidagi proektsiyalarga ega bo'ladi:

$$\alpha_x = \frac{du_x}{dt}; \alpha_y = \frac{du_y}{dt}; \alpha_z = \frac{du_z}{dt} \quad (3.15)$$

Birlik massaga ta'sir etuvchi bosim kuchlarining teng ta'sir etuvchilari

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}; -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}; -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.16)$$

bo'ladi. Shuningdek, og'irlik kuchlari uchun x , y va z o'qlaridagi proektsiyalar

$$X_x, Y_y, Z_z \quad (3.17)$$

Endi x , y va z o'qlari bo'yicha Dalmber prinsipini qo'llasak quyidagi differensial tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\begin{cases} \frac{du_x}{dt} = X_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{du_y}{dt} = Y_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{du_z}{dt} = Z_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{cases} \quad (3.18)$$

Bu tenglamalar sistemasi ideal suyuqliklar harakatining differensial tenglamasi deyiladi. U birinchi marta Eyler tomonidan suyuqliklar

harakatini tekshirish uchun taklif qilingani uchun (1755 y) Eyler tenglamasi deb ham yuritiladi.

Yuqoridagi sistema uchta differensial tenglamadan iborat bo'lib, harakatlar soni to'rtga: u_x, u_y, u_z, p . Matematikada ko'rsatilishicha harakat holida yana bitta tenglama kerak bo'ladi. Ana shu to'rtinchi tenglama sifatida suyuqliklar harakatining uzilmaslik tenglamasini differensial shaklda yoziladi va u siqilmaydigan suyuqliklar uchun quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (3.19)$$

Ushbu matematika kursidan ma'lumki, ixtiyoriy vektor proyeksiyalarining ma'lum koordinatalar bo'yicha hosilalari yig'indisi divergentsiya deyiladi. U holda,

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = \text{div } \vec{U}$$

Huini nazarga olsak, (3.19) qisqacha quyidagicha yoziladi:

$$\text{div } \vec{U} = 0$$

Harakat funksiyaning to'liq differensial haqidagi qoidaga asosan

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_x}{\partial z} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (3.20)$$

lekin koordinatalardan vaqt bo'yicha hosilalar tezlik proyeksiyalarini beradi, ya'ni

$$\frac{\partial x}{\partial t} = u_x; \frac{\partial y}{\partial t} = u_y; \frac{\partial z}{\partial t} = u_z \quad (3.21)$$

Huini nazarda tutgan holda (3.20) ni quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (3.22)$$

Shuningdek, u_x, u_y, u_z funksiyalarining vaqt bo'yicha to'liq hosilalarini ham quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (3.23)$$

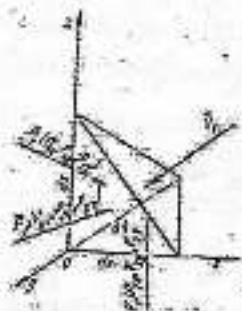
$$\frac{du_y}{dt} = \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \quad (3.24)$$

(3.22), (3.23), (3.24) larni (3.18) tenglamaga qo'yib, ideal suyuqliklar differensial tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \quad (3.25)$$

3.6. Real suyuqliklarda ichki kuchlar. Nave-Stoks tenglamasi

Real suyuqliklarda gidrodinamik bosim mavjud bo'lib, harakat yo'nalishi bo'lgan holda u gidrostatik bosimga aylanadi. Gidrodinamik bosimning xossalari gidrostatik bosim xossalari qaranganda umumiyroqdir. Gidrodinamik bosim suyuqlikdagi ichki kuchlarni ifodalovchi va zo'riqish kuchlari deb ataluvchi kuchlar tarkibiga kiradi. Suyuqlik ichida joylashgan biror elementar hajmni kuzutsak, unga tashqaridagi suyuqlik massasi ma'lum bir kuch bilan ta'sir qiladi. Ana shu kuch zo'riqish kuchi deyiladi. Bu kuchni to'laroq ko'z oldimizga keltirish uchun tomonlari dx , dy , dz ga teng bo'lgan tetraedr ko'rinishidagi elementar hajm ajratib olamiz (3.7-rasm). U holda tetraedrning qiya sirtiga tashqaridagi suyuqlik p , kuch bilan ta'sir qiladi. Olingan elementar hajm harakat vaqida o'z holatini saqlashi uchun unga teng ta'sir etuvchisi p , kuchiga teng va qarama-qarshi yo'nalgan quyidagi uchta kuch ta'sir qiladi: tetraedrning yOz tekislikda yotgan yuzasi bo'yicha p , kuchi, xOz tekislikda yotgan yuzasi bo'yicha p , kuchi.



3.7- rasm. Real suyuqliklardagi zo'riqish tenzorini tushuntirishga doir chizma.

Bu kuchlarning har biri x , y va z o'qlari bo'yicha proyeksiyaga ega:

$$\begin{aligned} \bar{p}_x &= \{p_{xx}, p_{xy}, p_{xz}\} \\ \bar{p}_y &= \{p_{yx}, p_{yy}, p_{yz}\} \\ \bar{p}_z &= \{p_{zx}, p_{zy}, p_{zz}\} \end{aligned}$$

Shunday qilib, P kuchni to'qqizta kuch bilan almashtirish mumkin. Shunday xususiyatga ega bo'lgan kattaliklar tenzor deb ataladi va quyidagicha yoziladi:

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} p_{xx} & p_{xy} & p_{xz} \\ p_{yx} & p_{yy} & p_{yz} \\ p_{zx} & p_{zy} & p_{zz} \end{pmatrix} \quad (3.26)$$

Bu kuchlardan uchta p_{xx} , p_{yy} , p_{zz} tetraedr yon sirtlariga normal bo'yicha yo'nalgan bo'lib, ular zo'riqish tenzorining normal tashkil etuvchilari deyiladi. Tenzorning qolgan oltita tashkil etuvchisi sirlarga qarama-qarshi bo'yicha yo'nalgan bo'lib, zo'riqish tenzorining urima tashkil etuvchilari deyiladi. Urima tashkil etuvchilar quyidagi xossaga ega bo'ladi:

$$p_{xy} = p_{yx}, p_{yz} = p_{zy}, p_{zx} = p_{xz}$$

Shuning uchun, p tenzori simmetrik tenzor deb ataladi. Bu xossaning asosiy maxsus kurslarda keltirilgan bo'lib, biz u to'g'risida to'xtalib qaytmaymiz. Shuningdek, tenzorning komponentlarini tushuntirishlarsiz, tekislik va qovushqoqlik koeffitsiyenti orqali ifodasini keltiramiz:

$$\begin{aligned} p_{xx} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} \\ p_{yy} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} \\ p_{zz} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \\ p_{xy} &= p_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \\ p_{yz} &= p_{zy} = \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \\ p_{zx} &= p_{xz} = \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3.27)$$

bu yerda p — gidrodinamik bosim.

Bu yerda biz $\bar{p}$, tenzori komponentalarini siqilmaydigan suyuqliklar uchun yozdik. Bu ifodalarni ilgari aytib o'tilgan Nyuton gipotezasiga qiyoslab, umumlashgan Nyuton gipotezasi deb ataladi. Bu holda avvalgi paragrafdagi kabi harakat tenglamasini tuzish mumkin bo'ladi. Tomonlari dx , dy , dz ga teng bo'lgan parallelepiped ko'rinishida elementar hajm olsak

(3.7-rasmga q.) U holda Ox , Oy , Oz yo'nalishida og'irlik va inertsiya kuchlarini hisobga olmaganimizda, uchta kuch ta'sir qiladi:

Ox bo'yicha p_{xx} , p_{xy} , p_{xz}

Oy bo'yicha p_{xy} , p_{yy} , p_{yz}

Oz bo'yicha p_{xz} , p_{yz} , p_{zz} .

Demak, parafleksipodning (3.7-rasmga q.) Ox o'qiga tik bo'lgan yon yoqlari bo'yicha ta'sir qiluvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi quyidagidek teng:

$$\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z}$$

Oy o'qiga tik bo'lgan yon yoqlari bo'yicha

$$\frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial z}$$

Oz o'qiga tik bo'lgan yon yoqlari bo'yicha

$$\frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z}$$

Endi, oldingi paragrafdagi kabi Dalmber prinsipidan foydalanib harakat tenglamasini tuzamiz. U quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= X + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} \right) \\ \frac{du_y}{dt} &= Y + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial z} \right) \\ \frac{du_z}{dt} &= Z + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

Olingan tenglamaga (3.22), (3.23), (3.24) va (3.25) munosabatlarni kiritsak, real suyuqliklarning harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

Bu hosil bo'lgan tenglamalar sistemasi siqilmaydigan suyuqliklar uchun Navo-Stoks tenglamasi deyiladi. (3.29) sistema uchta tenglamadan iborat bo'lib noma'lumlar soni to'rtta; u_x , u_y , u_z , p . Shuning uchun real

harakatini tekshirishda bu sistemaga (3.19) tenglamani qo'shib

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

Masala. Siqilmaydigan suyuqlikning tezlik maydoni quyidagi

$\varphi = 4(x^2 - y^2)$ ega bo'lishi mumkinmi?

Yechish. Suyuqlikning tezlik maydoni potentsialga ega bo'lishi uchun Laplas tenglamasidan foydalanamiz:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0$$

U holda

$$\varphi = 4(x^2 - y^2); \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 8$$

$$\varphi = 4(x^2 - y^2); \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -8$$

U yerda $\nabla^2 \varphi = 8 - 8 = 0$

Demak, tezlik maydoni berilgan potentsialga ega bo'lishi mumkin.

Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Agar kesimlardagi harakat kesimining yuzasi $\omega_1 = 0,5 \text{ m}^2$; $\omega_2 = 0,7 \text{ m}^2$ va $\omega_3 = 0,4 \text{ m}^2$ bo'lib, $V_3 = 0,8 \text{ m/s}$ bo'lganda, oqim sarfi va o'rtacha tezligini aniqlang.

2. To'g'ri burchakli to'rtburchak shaklidagi ketma-ket ulangan quvurlarning gidravlik elementlarini (sarf, o'rtacha tezlik, gidravlik radius, bo'lingan perimetr) aniqlang: $h_1 = 1,0 \text{ m}$; $h_2 = 1,5 \text{ m}$; $h_3 = 1,2 \text{ m}$; $h_4 = 1,8 \text{ m}$, $V_2 = 0,5 \text{ m/s}$ bo'lsin.

3. Oqim harakat tezligining proyeksiyasi berilgan: $u_x = 8x$; $u_y = -8y$. Oqim chizig'ining trayektoriyasini toping.

4. Oqim trayektoriyasi tenglama orqali berilgan bo'lsa, uning 10 sekunddan keyingi tezligini aniqlang.

5. Tajribalar asosida olingan tezlik proyeksiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ldi: $u_x = 5xy + 2$; $u_y = 2x - 5xy$. Tajriba to'g'ri o'tkazilganmi?

3.7. Elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi

Yuqorida keltirilgan Eyler va Nave-Stoks tenglamalar sistemalarini yechish yo'li bilan suyuqlik harakatlantiruvchi har bir nuqtasidagi tezlik va bosimni topish mumkin. Lekin bu sistemalarni yechish katta qiyinchiliklar bilan amalga oshiriladi, ko'p hollarda esa hatto yechish mumkin emas. Shuning uchun gidravlikada, ko'pincha, o'rtacha tezlikni topish bilan chegaralanishga to'g'ri keladi. Buning uchun, odatda, Bernulli tenglamasidan foydalaniladi. Biz bu yerda Bernulli tenglamasini ikki xil usulda chiqarishni ko'rsatamiz.

Birinchi usul Eyler tenglamasidan foydalanish yo'li bilan amalga oshiriladi. Buning uchun (3.18) sistemani birinchi tenglamasini dx ga, ikkinchi tenglamasini dy ga, uchinchi tenglamasini dz ga ko'paytiramiz va hosil bo'lgan uchta tenglamani qo'shamiz. Natijada quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{du_x}{dt}dx + \frac{du_y}{dt}dy + \frac{du_z}{dt}dz = Xdx + Ydy + Zdz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) \quad (3.30)$$

(3.21) munosabatdan ko'rinib turibdiki,

$$dx = u_x dt, \quad dy = u_y dt, \quad dz = u_z dt$$

Shu munosabatdan foydalanib, (3.30) tenglamani chap tomonini quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} u_x dt + \frac{\partial u_y}{\partial t} u_y dt + \frac{\partial u_z}{\partial t} u_z dt = u_x du_x + u_y du_y + u_z du_z - \frac{1}{2} d(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2) \quad (3.31)$$

lekin

$$u^2 = u_x^2 + u_y^2 + u_z^2$$

bo'lgani uchun (3.30) tenglama chap tomonining ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{2} d(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2) = \frac{1}{2} d(u^2) \quad (3.32)$$

(3.30) ning o'ng tomonidagi $Xdx + Ydy + Zdz$ biror kuch potentsialining to'liq differensialidir. Agar shu potentsialni $F = f(x, y, z)$ bilan belgilasak, u holda quyidagiga ega bo'lamiz

$$Xdx + Ydy + Zdz = dF \quad (3.33)$$

holda, suyuqlikka ta'sir qiluvchi massa kuch og'irlik kuchidir. Bu holda ikki koordinatalar sistemasida quyidagicha bo'ladi:

$$F = -gz \quad (3.34)$$

(3.30) tenglamani o'ng tomonida yana bosim bilan ifodalangan munosabat bo'lib, u bosimning to'liq differensialini ifodalaydi, ya'ni

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = dp \quad (3.35)$$

(3.32), (3.33), (3.34) va (3.35) larni (3.30) tenglamaga qo'ysak, u quyidagi ko'rinishga keladi

$$\frac{1}{2} d(u^2) - \frac{1}{\rho} dp + d(gz) = 0$$

Hosil bo'lgan tenglamani elementar oqimchaning 1-1 kesimidan (3.8-namga q.) 2-2 kesimigacha integrallasak, quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = \frac{u_0^2}{2} + \frac{p_0}{\rho} + gz_0 \quad (3.36)$$

Bu tenglikdagi har bir had massa birligiga keltirilgan. Agar uni kuch birligiga keltirsak, ya'ni g ga ikki tomonini bo'lib yuborsak, u holda $\rho u = \rho u_0$ hisobga olib, quyidagini olamiz:

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \frac{u_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 \quad (3.37)$$

Oxirgi tenglama 1738 y. Bernulli tomonidan olingan bo'lib, uning nomi bilan ataladi va gidravlikada harakatning asosiy tenglamasi bo'lib xizmat qiladi. Bu tenglama ixtiyoriy ikki kesim uchun olingan bo'lib, bu kesimlarning elementar oqimcha yo'nalishi bo'yicha qayerda olinishining ahamiyati yo'q. Shuning uchun Bernulli tenglamasini quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin:

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = const \quad (3.38)$$

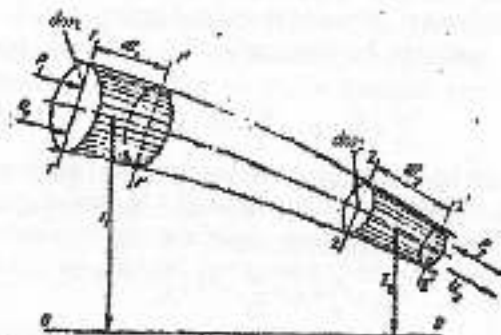
Ko'rinib turibdiki, Bernulli tenglamasida asosan $z, \frac{p}{\gamma}, \frac{u^2}{2g}$ kattaliklarning yig'indisi o'zgarmas ekan. Shunday qilib, bu tenglama tezlik u , bosim p , zichlik ρ o'rtasidagi munosabatni ifodalaydi.

D. Bernullining o'zi yuqoridagi tenglamani kinetik energiyani o'zgarishi qonunidan keltirib chiqargan bo'lib, biz keltirgan usul esa Eyler tomonidan qo'llanilgan.

Ikkinchi usul kinetik energiyani o'zgarish qonunidan foydalanib bajariladi. Harakat o'qi 1-1 bo'lgan biror elementar oqimchaning 1-1 va 2-

2 kesimlar bilan ajratilgan bo'lagini olamiz. U holda bu bo'lak dt vaqtda harakat qilib, 1' - 1' va 2' - 2' kesimlari orasidagi holatga keladi (3.8-rasm). 1-1 kesimning yuzasi do_1 bu yuzaga ta'sir qiluvchi kuch P_1 va tezlik u_1 bo'lsin. 2-2 kesimning yuzasi esa do_2 , unga ta'sir qiluvchi kuch P_2 , tezlik esa u_2 bo'lsin. Kinetik energiyaning o'zgarish qonunini elementar oqimchaniing ana shu harakatdagi bo'lagiga tatbiq qilamiz. Bu qonun bo'yicha biror jism harakati vaqtida uning kinetik energiyasining o'zgarishi, shu jismga ta'sir qilayotgan kuchlarning bajarigan ishlarining yig'indisiga tengdir. Bu gapning matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$d\left(\frac{m u^2}{2}\right) = \sum P l \quad (3.39)$$



3.8-rasm. Bernulli tenglamasini keltirib chiqarishga doir chizma.

bu yerda $d\left(\frac{m u^2}{2}\right)$ - kinetik energiyaning dt vaqtda o'zgarishi; $\sum P l$ - barcha kuchlar bajarigan ishlarining yig'indisi. Endi elementar oqimcha bo'lagining dt vaqt ichida 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi holatdan 1' - 1' va 2' - 2' kesimlar orasidagi holatga kelgandagi kinetik energiyasining o'zgarishini ko'ramiz. Harakat barqaror bo'lgani uchun bu o'zgarish 1 - 1 va 1' - 1' orasidagi bo'lak bilan 2 - 2 va 2' - 2' orasidagi bo'lak kinetik energiyalari ayirmasiga teng.

1 - 1 va 1' - 1' orasidagi bo'lakning kinetik energiyasi (uning massasi m_1 bo'lsa) $\frac{m_1 u_1^2}{2}$ ga teng bo'ladi. 2-2 va 2' - 2' orasidagi bo'lakning kinetik energiyasi esa $\frac{m_2 u_2^2}{2}$ ga teng. Demak ko'rilayotgan 1 - 1 va 2 - 2 orasidagi bo'lakning kinetik energiyasi dt vaqtda quyidagi miqdorga o'zgarar ekan:

$$\frac{m_1 u_1^2}{2} - \frac{m_2 u_2^2}{2} \quad (3.40)$$

Ikkinchi tomondan, 1 - 1 va 1' - 1' orasidagi bo'lakning massasi uning hajmi dV_1 ning zichlikka ko'paytmasiga teng, ya'ni

$$m_1 = \rho dV_1$$

Shuningdek, 2-2 va 2' - 2' orasidagi bo'lakning massasi

$$m_2 = \rho dV_2$$

dV_1 va dV_2 - dt vaqt ichida 1 - 1 va 2 - 2 kesimlarining yurgan yo'lini ko'rsatadi, shuning uchun

$$dV_1 = u_1 dt, \quad dV_2 = u_2 dt \quad (3.41)$$

U holda m_1 va m_2 uchun quyidagi munosabatni olamiz;

$$m_1 = \rho dV_1 u_1 dt, \quad m_2 = \rho dV_2 u_2 dt$$

Bu munosabatni (3.40) ga qo'ysak va uzilmaslik tenglamasidan $q = u_1 dV_1 = u_2 dV_2$ ekanligini nazarga olsak, kinetik energiyaning o'zgarishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{m_1 u_1^2}{2} - \frac{m_2 u_2^2}{2} = \rho \frac{q dV_1 u_1^2}{2} - \rho \frac{q dV_2 u_2^2}{2} = \rho q d\left(\frac{u_1^2}{2} - \frac{u_2^2}{2}\right) \quad (3.42)$$

Endi, bajarilgan ishlarni tekshiramiz. Ular 1-1 va 2-2 kesimlarga ta'sir qiluvchi gidrodinamik kuchlarning va og'irlik kuchining bajarigan ishlaridir. Elementar oqimchaniing yon sirtlariga ta'sir qiluvchi bosim kuchining bajarigan ishi esa nolga teng ekanligi harakatning barqarorligidan ko'rinadi.

1-1 kesimga ta'sir etuvchi p_1 bosimning bajarigan ishini A_1 2-2 kesimga ta'sir etuvchi p_2 bosimning bajarigan ishini A_2 bilan belgilaymiz. U holda, 1. 35-rasmdan ko'rinib turibdiki,

$$A_1 = p_1 dV_1 dt$$

$$A_2 = p_2 dV_2 dt$$

(3.41) nazarga olsak va uzilmaslik tenglamasidan foydalansak, quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$A_1 = p_1 q dt, \quad A_2 = p_2 q dt \quad (3.43)$$

Og'irlik kuchi bajarigan ishini A_3 deb belgilaymiz. Bu ish (1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi bo'lak o'z holatini saqlagan uchun) 1-1 va 1' - 1' orasidagi bo'lak bilan 2-2 va 2' - 2' orasidagi bo'laklar og'irliklarini ular markazlarining vertikal o'qi bo'yicha holatlari z_1 va z_2 ning ayirmasiga ko'paytirilganiga teng, ya'ni

$$A_3 = G(z_1 - z_2)$$

lekin

$$G = \rho dV_1 u_1 = \rho dV_2 u_2 = \rho q dt$$

bo'lgani uchun

$$A_2 = \rho q dz_1 - z_2). \quad (3.44)$$

Endi, (3.42), (3.43) va (3.44) larni (3.39) ga qo'ysak, elementar oqimcha uchun kintik energiyani o'zgarish qonunini olamiz

$$\rho q dz \left(\frac{u_1^2}{2} - \frac{u_2^2}{2} \right) - p_1 q dz - p_2 q dz + \rho q dz(z_1 - z_2)$$

bu yerda p_2 kuch suyuqlik harakatiga teskari yo'nalgan bo'lgani uchun tenglamaning o'ng tomonidagi ikkinchi had (ya'ni A_2) manfiy ishora bilan olindi. Oxirgi tenglamaning ikki tomonini $\rho q dz$ ga bo'lsak:

$$\frac{u_1^2}{2} - \frac{u_2^2}{2} = \frac{p_1}{\rho} - \frac{p_2}{\rho} + z_1 - z_2$$

Bir xil indeksli hadlarni gruppalar joylashtirsak, Bernulli tenglamasi hosil bo'ladi:

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z_1 = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z_2. \quad (3.45)$$

Shunday qilib, elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi kinetik energiyani o'zgarish qonunini ifodalaydi.

3.8. Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari

Bernulli tenglamasining har bir badi o'zining geometrik va energetik mazmunlariga ega. Buni aniqlash uchun biror elementar oqimcha olib, uning 1-1, 2-2 va 3-3 kesimlarini ko'ramiz (3.9-rasm). Bu kesimlarning og'irlik markazi biror 0-0 tekislikdan z_1 , z_2 va z_3 masofalarda bo'lsin. Bular qiyosiy tekislik 0-0 dan elementar oqimchaning geometrik balandliklarini ko'rsatadi. Endi olingan 1-1, 2-2 va 3-3 tekisliklar markazida pezometr (to'g'ri shisha naycha) va uchi egilgan shisha naychalar o'rnatamiz. Bu holda pezometrlarda suyuqlik kesimlar og'irlik markaziga nisbatan ma'lum balandliklarga ko'tariladi. Bu ko'tarilish gidrostatika qismida ko'rganimizdek kesimlarda

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma}, \quad h_2 = \frac{p_2}{\gamma}, \quad h_3 = \frac{p_3}{\gamma}$$

ga teng bo'ladi.

h_1 , h_2 , h_3 lar pezometrik balandliklar deb ataladi. Odatda, pezometrlar yordamida quvurlar va suyuqlik harakat qilayotgan boshqa idishlarda gidrodinamik bosim o'lchanadi.

Uchi egilgan shisha naychalarda suyuqlik pezometrlardagiga qaraganda balandroqqa ko'tariladi. Buning sababi shundaki, uchi egilgan shisha naychalarda uning egilgan uchi suyuqlik harakati yo'nalishida bo'lib,

gidrodinamik bosimga qo'shimcha suyuqlik tezligiga bog'liq bo'lgan, tezlik nabori paydo bo'ladi. Bunda suyuqlik zarrachalarining inertsia kuchi qo'shimcha bosimga sabab bo'ladi. Uchi, egilgan shisha naychalardagi balandlik quyidagilarga teng:

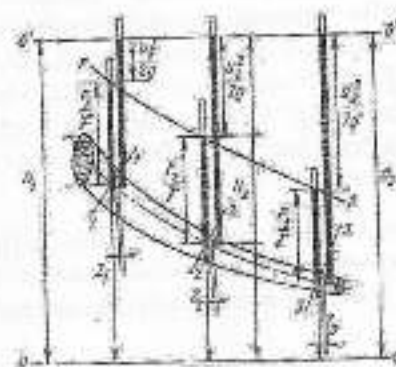
$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}; \quad h_2 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}; \quad h_3 = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{u_3^2}{2g}$$

Pezometrda suyuqlik balandligi bilan uchi egilgan shishalardagi balandlik teng bo'ladi.

$$h_1 = h_2 = \frac{u_1^2}{2g}, \quad h_2 = h_3 = \frac{u_2^2}{2g}, \quad h_3 = h_1 = \frac{u_3^2}{2g}$$

larga teng bo'ladi va tezlik nabori (balandligi) deyiladi.

Shunday qilib, geometrik nuqtai nazardan Bernulli tenglamasining hadlari quyidagicha ataladi:



3.9-rasm. Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlariga doir chizma

$\frac{u_1^2}{2g}, \frac{u_2^2}{2g}, \frac{u_3^2}{2g}$ - suyuqlikning tegishli kesimlaridagi tezlik nabori (balandligi);

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}, \frac{p_3}{\gamma}$ - pezometrik balandliklar;

z_1, z_2, z_3 - geometrik balandliklar, tegishli kesimlarning og'irlik markazi 0-0 tekisligidan (tuqqoslash tekisligidan) qancha balandlikda turishini ko'rsatadi.

$\frac{u^2}{2g}, \frac{p}{\gamma}, z$ larning birliklari uzunlik birliklariga tengdir.

Pezometrlardagi suyuqlik balandliklarini birlashtirsak, hosil bo'lgan chiziq, **pezometrik chiziq** deyiladi.

Bernulli tenglamasidan tezlik (napori) balandligi, pezometrik va geometrik balandliklarining umumiy yig'indisi o'zgarmas miqdor bo'ladi. 3.10-rasmda 0'-0' shizig'i bilan belgilanadi va suyuqlikning napor (dami) tekisligi deb ataladi.

Gidrodinamikada bu uchta balandliklar $\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z$ ning yig'indisi suyuqlikning to'liq napor (dami) deb ataladi va H bilan belgilanadi:

$$H = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{const.}$$

Bular ideal elementar oqimchalar uchun Bernulli tenglamasining geometrik ma'nosini bildiradi. Uning energetik ma'nosi kinetik energiyaning o'zgarish qonuni bo'yicha chiqarilishiga asoslangan. Boshqacha aytganda, Bernulli tenglamasi suyuqliklar uchun energiyaning saqlanish qonunidir. Bernulli tenglamasi (3.45) ning chap tomoni elementar oqimchani 1-1 kesimidagi to'liq solishtirma energiya bo'lib, u 2-2 kesimidagi to'liq solishtirma energiyaga teng yoki umuman o'zgarmas miqdordir.

Bu yerda *solishtirma energiya* deb og'irlik birligiga to'g'ri kelgan energiya miqdoriga aytamiz. Bu aytilgandarga asosan Bernulli tenglamasi hadlarining energetik yoki fizik ma'nosi quyidagicha bo'ladi:

$\frac{u^2}{2g} + \frac{u^2}{2g} + \frac{u^2}{2g}$ - elementar oqimchani 1-1, 2-2, 3-3 kesimlarga tegishli solishtirma kinetik energiyasi;

$\frac{p}{\gamma} + z_1, \frac{p}{\gamma} + z_2, \frac{p}{\gamma} + z_3$ - elementar oqimcha kesimlari uchun solishtirma potensial energiya;

$\frac{p}{\gamma}, \frac{p}{\gamma}, \frac{p}{\gamma}$ - kesimlarga tegishli bosim bilan ifodalanuvchi solishtirma energiya;

z_1, z_2, z_3 - 1-1, 2-2, 3-3 kesimlarga tegishli og'irlik bilan ifodalanuvchi solishtirma energiya.

Suyuqlik harakati vaqtida mexanikaning qonunlariga asosan, ish bajariladi. Shu bajarilgan ishlar bo'yicha Bernulli tenglamasini quyidagicha shartlash mumkin: ikkita kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi (3.45) shu ikki kesimda tegishli hadlarining ayirmalaridan tashkil topadi:

kinetik energiyaning birlik og'irlik uchun o'zgarishi;

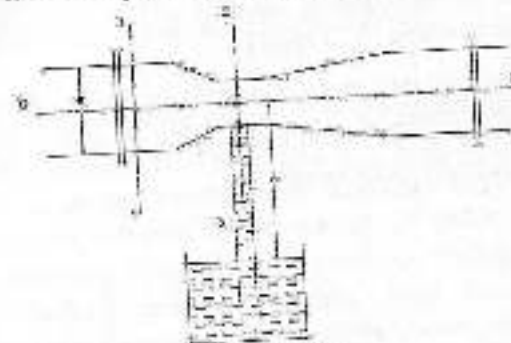
bosim kuchi bajargan ishning birlik og'irlikka tegishli qismi.

og'irlik kuchi bajargan ishning birlik og'irlikka tegishli qismi.

Hamam, suyuqlik harakat qilayotganda solishtirma kinetik va solishtirma potensial energiyalar harakat davomida o'zgarib boradi, lekin ularning solishtirma energiya o'zgarmas bo'ladi.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma

Masala. Struyali nasos yordamida suv $h = 0,5$ m chuqurlikdan ko'tarilmoqda. Agar quvur diametri $d = 100$ mm, 1-1 kesimidagi bosim $p_1 = 40$ kPa, suv tezligi $u = 1,12$ m/s bo'lsa, kameradagi quvur diametrini aniqlang. Suv ideal deb qaralsin. (3.10-rasm).



3.10-rasm.

Yechimi: 1-1 va 2-2 kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz. Taqqoslash tekisligini quvur o'qi bo'ylab o'tkazamiz. U holda d_2 ni quyidagicha aniqlaymiz:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = 0,05 \text{ m}$$

Mustaqil yechishga doir masalalar:

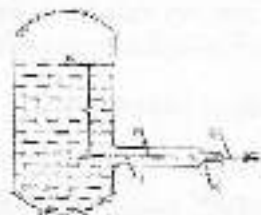
1. Rezervuardan suv diametri $d=30$ mm bo'lgan quvur orqali atmosferaga oqib chiqmoqda, agar rezervuardagi manometrik bosim $P_{\text{man}}=0,2$ atmosfera bo'lib, dam (napor) $H=1,5$ bo'lsa, quvurdagi suv sarfini aniqlang (3.11-rasm).

2. Suyuqlik ketma-ket ulangan har xil diametrli quvurlar orqali atmosferaga chiqmoqda. Agar ikkinchi quvurdagi tezlik $s_2=0,8$ m/s bo'lsa, birinchi quvurdagi tezlik $s_1=2$ m/s bo'lishi uchun, birinchi quvurdagi bosim qanday bo'lishi kerak (3.12-rasm).

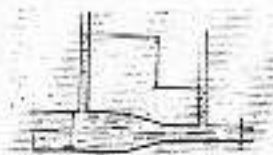
3. Quvurdagi suv sarfini aniqlash uchun Venturi naychasidan foydalaniladi.

Agar quvurga o'rnatilgan pezometrlar farqi $h=16$ sm bo'lib, quvur diametri $D=20$ sm, naychaning diametri $d=14$ sm bo'lganda quvurdan o'tayotgan sarfini aniqlang (3.13-rasm).

4. Agar naychaning diametri $d=5$ sm, quvurning diametri $D=100$ mm va quvurdagi bosim $P_1=0,4$ at bo'lsa, naychaga ulangan quvurda suv qaysi halandlikka ko'tariladi? (3.14-rasm)



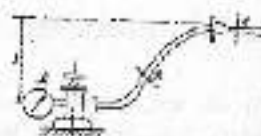
3.11-rasm.



3.12-rasm.



3.13-rasm.



3.14-rasm.

1.9. Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi

Endi real suyuqlik elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasining grafisini chizamiz. Buning uchun harakat o'qi $S-S, 1-1, 2-2$ va $3-3$ kesimlardagi tezliklar u_1, u_2, u_3 , bosimlari p_1, p_2, p_3 bo'lgan elementar oqimcha olamiz. Bu oqimcha uchun kesimlarda pezometr va uchi egilgan shisha naycha olamiz. Pezometrlardagi suyuqlik bulandliklarini tutashtirib, pezometrik chiziqli ($P-P$) ni hosil qilamiz. Uchi egik naychalarda suyuqlik bulandliklarini tutashtirib, suyuqlik bosimi (damu) shizig'i ($H-H$) ni hosil qilamiz. Qurilgan grafikni ideal suyuqlik elementar oqimchasi uchun olingan grafik (3.15-rasm) bilan solishtiramiz. Natijada ideal suyuqliklar uchun oqimchaning birinchi kesimidagi gidrodinamik bosimi H_1 ikkinchi va uchinchi kesimlardagi gidrodinamik bosimlarga tengligini, ya'ni $H_1 = H_2 = H_3 = \text{const}$ ekanligini real suyuqlik uchun birinchi kesimdagi gidrodinamik bosim H_1 ikkinchi va uchinchi kesimlardagi bosimlarga tengmasligini, ya'ni $H_1 \neq H_2 \neq H_3$ ekanligini ko'ramiz. 3.15-rasmga muvofiq bu tengsizlik quyidagicha ifodalanadi:

$$H_1 > H_2 > H_3$$

Demak, real suyuqlikning elementar oqimchasi harakat qilganda solishtirma energiya ma'lum bir qismi yo'qotilgan ekan; birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi bu yo'qotishni h_{1-2} bilan belgilaymiz. Bunda indeks orasida yo'qotish bo'layotgan kesimlar nomerini ko'rsatadi. Masalan, ikkinchi va uchinchi kesim orasida yo'qotish h_{2-3} , birinchi va uchinchi kesim orasidagi yo'qotish h_{1-3} va hokazo. Aytilgan yo'qotishning mohiyatini quyidagicha izohlash mumkin. Real suyuqlik elementar oqimchasi harakat qilayotganda ichki ishqalanish kuchi natijasida gidravlik qarshilik paydo bo'ladi va uni yengish uchun albatta ma'lum bir miqdorda energiya sarflash kerak. Bu sarflangan energiya ko'rilayotgan harakat uchun tiklanmaydi. Yuqorida keltirilgan tengsizlik ana shu yo'qotilgan energiya hisobiga bo'ladi. Birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi yo'qotilgan solishtirma energiya gidravlik bosimlar farqiga teng:

$$h_{1-2} = H_1 - H_2$$

Yuqorida ko'rilganga asosan

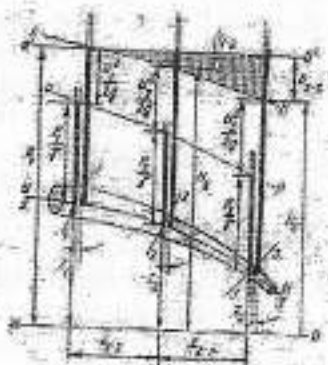
$$H_1 = \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1, \quad H_2 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2,$$

bundan

$$h_{1-2} = \left(\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \right)$$

natijada quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_{1-2} \quad (3.46)$$



3.15-rasm. Real suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasining geometrik ma'nosi.

Olingan tenglama real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasidir. Bu tenglama ideal suyuqlik elementar oqimchasidan o'ng tomondagi to'rtinchi hadi h_{1-2} bilan farq qiladi. Bu had 1-1 va 2-2 kesimlar orasida bosimning kamayishini ko'rsatadi. Ideal suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchi hisobga olinmagani uchun yuqorida aytilgan had bo'lmaydi.

3.10. Real suyuqliklar oqimi uchun Bernulli tenglamasi. Koriolis koeffitsiyenti

Oqim cheksiz ko'p elementar oqimchalardan tashkil topganligidan shu oqimchalar energiyalarining harakat kesimi bo'yicha integralini olish yo'li bilan oqim uchun Bernulli tenglamasini hosil qilish mumkin:

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{u^2}{2g} d\omega + \int_{z_1}^{z_2} \frac{P}{\gamma} d\omega + \int_{z_1}^{z_2} z d\omega = \int_{z_1}^{z_2} \frac{u_1^2}{2g} d\omega + \int_{z_1}^{z_2} \frac{P_1}{\gamma} d\omega + \int_{z_1}^{z_2} z d\omega + \int_{z_1}^{z_2} h_{1-2} d\omega \quad (3.47)$$

Oqimning har bir elementar oqimchasida tezlikni hisoblash qiyin bo'lgani uchun (3.47) tenglamadagi integrallarni hisoblash ham juda qiyinlashadi. Shuni nazarga olib, oqim uchun Bernulli tenglamasida tezliklarni o'rtacha tezlik $\bar{v}$ bilan almashiriladi. Bu esa Bernulli tenglamasi foydalaniladigan hisoblash ishlarida katta qulaylik tug'diradi. Bu holda elementar oqimcha geometrik balandligi bo'yicha integral oqimning harakat kesimi og'irlik markazining geometrik balandligiga, bosim bo'yicha

integral esa ana shu geometrik balandlikdagi nuqtaga qo'yilgan bosimga bo'linadi. Elementar oqimchani 1-1 va 2-2 kesimlarida bosimning kamayishi bo'yicha integral ham oqim uchun bosimning o'rtacha kamayishi bo'yicha aylanadi. Solishtirma kinetik energiya integralini tezlikning o'rtacha qiymati bo'yicha kinetik energiya bilan almashtirsak, uning natijasi kamayib qoladi. Integral cheksiz ko'p miqdorlarning yig'indisi bo'lgani uchun buni yig'indilar kvadratlarning misolida ko'ramiz. Masalan, $u_1 = 10$ m/s, $u_2 = 11$ m/s, $u_3 = 9$ m/s, $u_4 = 12$ m/s, $u_5 = 8$ m/s bo'lsin. U holda o'rtacha tezlik:

$$\bar{v} = \frac{u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5}{5} = 10 \text{ m/s},$$

tezliklar kvadratlarning o'rtacha qiymati

$$\frac{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2}{5} = \frac{510}{5} = 102 \text{ m}^2/\text{s}^2,$$

o'rtacha tezlikning kvadrati esa $\bar{v}^2 = 100$ m²/s². Bundan ko'rinib turibdiki, tezliklar kvadratlarning yig'indisi o'rtacha tezlik kvadratidan katta ekan. Shunday qilib, quyidagi tengsizlik to'g'ri ekanligini ko'rish mumkin:

$$\int_{z_1}^{z_2} \frac{u^2}{2g} d\omega > \frac{\bar{v}^2}{2g} \omega.$$

Bu tengsizlikni integrallash yo'li bilan ham isbotlash mumkin. (Bunday isbotni talabalarining o'zlari bajarishini taklif qilamiz). Bu xatoni tuzatish uchun Bernulli tenglamasining birinchi hadiga α koeffitsiyentini kiritamiz. Bu koeffitsiyent tezlikning bir tekis miqdorda bo'lmashligini ifodalaydi va Koriolis koeffitsiyenti deb ataladi. U holda

$$\alpha = \frac{\int_{z_1}^{z_2} \frac{u^2}{2g} d\omega}{\frac{\bar{v}^2}{2g} \omega}.$$

Shunday qilib, yuqorida aytilganlarga asosan (3.47) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + H_{1-2} \quad (3.48)$$

Bu yerda α_1, α_2 - birinchi va ikkinchi kesimlarda tezlikning notekis tarqalganini hisobga oluvchi koeffitsiyent; H_{1-2} - birinchi va ikkinchi kesimlar orasida naporning (bosimning) kamayishi.

Oqim uchun Bernulli tenglamasida qolgan boshqa hadlar elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasida qanday atalsa, bu yerda ham shunday ataladi. Bu tenglama gidrodinamika masalalarini hal qilishda eng muhim

tenglama bo'lib, u barqaror harakatlar uchun yozilgan va tezlik harakat kesimi bo'yicha qancha kam o'zgarsa, shuncha kam xatolik beradi.

3.11. Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi

Odatda, harakat yo'nalishi bo'yicha bosim kamayib boradi. Suyuqliklarda hajmiy siqilish koeffitsiyenti β , juda kichik bo'lgani uchun bu o'zgarish suyuqlikning fizik xossalari ta'sir qilmaydi. Lekin gazlarda bosimning o'zgarishi ham uning parametrlariga ta'sir qiladi. Bundan tashqari, gazlarda suyuqliklarga qaraganda tezlik bir necha o'n baravar katta bo'ladi. Bu esa bosimga va gazning fizik xossalari, birinchi galda uning solishtirma og'irligiga ta'sir qiladi. Ammo gaz oqimining ko'ndalang kesimi bo'yicha tezlik deyarli o'zgarmaydi. Shuning uchun gazlarda $\alpha \approx 1$ bo'ladi. Gazlar uchun tezlik, bosim, solishtirma og'irlik tez o'zgaradi uchun birinchi va ikkinchi kesim (3.16-rasm) orasidagi masofani cheksiz kichik Δz deb olamiz. U holda Bernulli tenglamasi differensial ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$\rho \left(\frac{dz}{dz} \right) + \frac{\rho}{\gamma} dz + dz = 0 \quad (3.49)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dz} &= \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \left(\frac{z_2 - z_1}{\Delta z} \right) \\ \frac{\rho}{\gamma} &= \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\gamma} \right) \\ dz &= \lim_{\Delta z \rightarrow 0} (z_2 - z_1) \end{aligned}$$

Endi (3.49) tenglamadan integral olamiz. U holda (3.49) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\int \rho \left(\frac{dz}{dz} \right) + \int \frac{\rho}{\gamma} dz - \int dz = \int dh_0 = const \quad (3.50)$$

Bu tenglikda birinchi, uchinchi va to'rtinchi integrallarni hisoblash oson:

$$\int \rho \left(\frac{dz}{dz} \right) = \frac{\rho}{\gamma}; \quad \int dz = z; \quad \int dh_0 = h_0.$$

Uchinchi integralni hisoblashda solishtirma og'irlik bosimga bog'liq ekanligini nazarga olish kerak bo'ladi. Jarayonni politropik deb qarasa, u holda

$$\frac{\rho}{\gamma} = \frac{\rho_0}{\gamma_0}$$

bo'ladi. Bu tenglikdan

$$\gamma = \rho^{\frac{1}{n}} \frac{\gamma_0}{\gamma_0^{\frac{1}{n}}}, \quad (3.51)$$

bu yerda n - politropiya ko'rsatkichi; γ_0 - boshlang'ich holatdagi solishtirma og'irlik; ρ_0 - boshlang'ich holatdagi bosim. Oxirgi munosabatlardan foydalanib va γ_0 , ρ_0 o'zgarmas ekanligini hisobga olib, ikkinchi integralni quyidagicha hisoblaymiz:

$$\int \frac{\rho}{\gamma} dz = \int \frac{\rho_0^{\frac{1}{n}}}{\gamma_0^{\frac{1}{n}}} dz = \frac{\rho_0^{\frac{1}{n}}}{\gamma_0^{\frac{1}{n}}} \int \frac{dz}{1 - \frac{1}{n}}$$

(3.51) dan yana bir marta foydalansak, quyidagini olamiz:

$$\int \frac{\rho}{\gamma} dz = \frac{\rho_0^{\frac{1}{n}}}{\gamma_0^{\frac{1}{n}}} \frac{1}{1 - \frac{1}{n}}$$

natijada (3.40) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\rho^2}{2g} + \frac{\rho}{n-1} \frac{p}{\gamma} + z + h_0 = const \quad (3.52)$$

Tenglamani ikkita kesim uchun yozamiz:

$$\frac{\rho_1^2}{2g} + \frac{\rho_1}{n-1} \frac{p_1}{\gamma_1} + z_1 + h_0 = \frac{\rho_2^2}{2g} + \frac{\rho_2}{n-1} \frac{p_2}{\gamma_2} + z_2 + h_0 \quad (3.53)$$

Bu tenglama real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasidir. Suyuqlik uchun Bernulli tenglamasi uchta qiymat ρ , p , z ni bog'lagan bo'lsa, bu tenglama to'rtta qiymat ρ , p , z , γ ni bog'laydi. Shuning uchun gazlar harakati tekshirilganda Bernulli tenglamasi (3.21) bilan birgalikda foydalaniladi.

3.12. Gidravlik va pezometrik qiyaliklar haqida tushuncha

Gidravlikada hisoblash ishlarini bajarishda gidravlik I va pezometrik P qiyaliklardan foydalaniladi.

Bosim chizig'ining uzunlik birligiga to'g'ri kelgan pasayishi gidravlik qiyalik deb ataladi.

1.38-rasmida oqim uchun bosim va pezometrik chiziqlar keltirilgan. Bu chiziqlar umumiy holda egri chiziq bo'lib, rasmida to'g'ri chiziq ko'rinishda tasvirlangan. Gidravlik qiyalikning ta'rifidan ko'rinib turibdiki, uning o'rtacha qiymati 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi qiyalik orqali quyidagicha aniqlanadi:

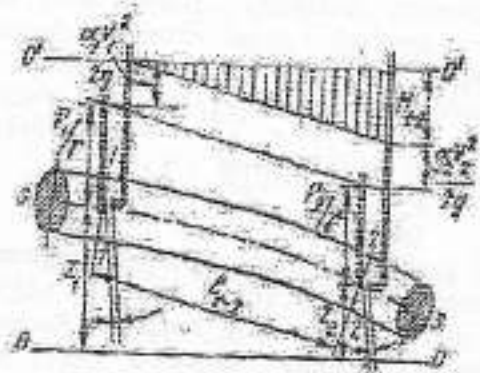
$$l_{1,2} = \frac{\left(\frac{\alpha_1 \theta_1^2}{2g} + \frac{h_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{\alpha_2 \theta_2^2}{2g} + \frac{h_2}{\gamma} + z_2\right)}{1} = \frac{H_{1,2}}{1} \quad (3.54)$$

bu yerda $l_{1,2}$ – birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi masofa; $H_{1,2}$ – shu masofa orasida dam (bosim) ning pasayishi.

Agar bosim chizig'i egri chiziq bo'lsa, u holda gidravlik qiyalik differensial ko'rinishda yoziladi:

$$I = \frac{dH}{ds} = - \frac{d\left(\frac{\alpha \theta^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z\right)}{ds}$$

Pezometrik chiziqlarning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan pasayishi pezometrik qiyalik deb ataladi. Birinchi va ikkinchi kesim orasidagi (3.15-rasm) o'rtacha pezometrik qiyalik quyidagicha aniqlanadi:



3.16-rasm. Gidravlik va pezometrik nisbatliklar.

$$l_{p,2} = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{1} \quad (3.55)$$

Pezometrik qiyalik l_p pezometrik chiziq egri chiziq bo'lganda differensial ko'rinishda aniqlanadi:

$$l_p = - \frac{d\left(\frac{p}{\gamma} + z\right)}{ds}$$

Tekis harakat vaqtida tezlik o'zgarmaganligi ($\theta_1 = \theta_2$) uchun gidravlik va pezometrik qiyaliklar teng bo'ladi.

3.13. Gidravlik yo'qotish haqida tushuncha, Gidravlik yo'qotishning turlari

Real suyuqliklarda ikki kesim orasida energiya yo'qotilishini $H_{1,2}$ bilan belgiladik. Bu yo'qotish suyuqliklardagi qovushqoqlik kuchi hisobiga bo'ladi, ya'ni u shu kuchni yengishga sarf bo'ladi.

Quvurlardagi harakatni tekshirganimizda masala asosan ishqalanish kuchini yengish uchun sarf bo'lgan yo'qotishni hisoblashga keladi. Bu holda quvurning 1-1 va 2-2 kesimlarining sirti teng bo'lgani uchun ushuklari ham teng bo'ladi (3.17-rasm), ya'ni harakat tekis bo'ladi. 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi suyuqlik ustuniga ta'sir qiluvchi kuchlar:

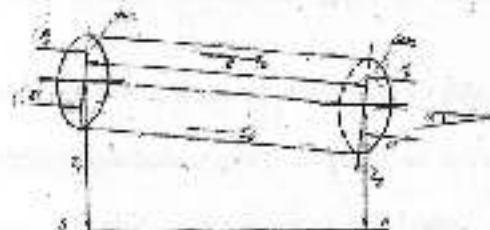
1) $P_1 = p_1$ va $P_2 = p_2 \omega$ – bosim kuchlari;

2) $G = \gamma \omega l$ – og'irlik kuchi;

3) $T = \tau \pi D l$ – ishqalanish kuchidir.

1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi suyuqlikning muvozanat holati tenglamasi unga ta'sir qilayotgan kuchlar orqali quyidagicha yoziladi:

$$P_1 - P_2 + G \sin \alpha - T = 0.$$



3.17-rasm. Gidravlik yo'qotish tushunchasiga doir chizma.

$\sin \alpha = \frac{z_1 - z_2}{l}$ ekanligini hisobga olsak, yuqoridagi tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$p_1 \omega - p_2 \omega + \gamma \omega l \frac{z_1 - z_2}{l} + \tau \pi D l = 0$$

Hundan tekis harakat uchun Bernulli tenglamasi kelib chiqadi:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{\tau \pi D l}{\gamma \omega}$$

Bu tenglamani (3.48) tenglama bilan solishtirsak va uni tekis harakat ($v_1 = v_2$) uchun qo'llasak, gidravlik yo'qotish uchun quyidagi munosabatni olamiz:

$$h_{1,2} = \frac{\tau \pi D l}{\gamma \omega} \quad (3.56)$$

bu yerda l – oqim uzunligi; D – quvur diametri. Gidravlik yo'qotish, odatda, ikki turga ajratiladi:

1. Uzunlik bo'yicha (ishqalanish kuchiga sarf bo'lgan) yo'qotish oqim uzunligi bo'yicha harakat hisobiga vujudga keladi, va uning uzunligiga bog'liq bo'ladi. Bu yo'qotish (3.56) formula ko'rinishida ifodalanadi.

2. Mahalliy qarshilik oqimning ayrim qismlarida notekis harakat hisobiga vujudga keladi. Notekis harakatni vujudga keltiruvchi qismlar quvur yoki o'zanning kesim shakllari, o'zgaragan joylari (birsaklar, to'siqlar, keskin kenguyishlar, keskin torayishlar, kranlar va h.) bo'lib, bu yerdagi gidravlik yo'qotish uzunlikka bog'liq emas.

Umumiy gidravlik yo'qotish bu ikki yo'qotishning yig'indisiga teng

$$H_n = H_l + H_m \quad (3.57)$$

bu yerda H_n – uzunlik bo'yicha yo'qotish; H_m – mahalliy qarshilik.

Gidravlik yo'qotish suyuqlikning kinetik energiyasiga bog'liq bo'lib, energiya ortishi bilan ortadi, kamayishi bilan esa kamayadi. Shuning uchun gidravlik yo'qotishni suyuqlik kinetik energiyasiga proporsional qilib olinadi.

3.14. Tezlik va sarf o'lchash usullari hamda asboblari

Suyuqlik sarfini va tezligini o'lchashning eng oson usuli hajmiy va og'irlik usullaridir.

1. Hajmiy usulda tekshirilayotgan oqimdan suyuqlik maxsus darajalangan idish (menzurka) ga tushadi. Idishning to'lish vaqti sekondomer yordamida aniq o'lchanadi. Agar idishning hajmi V , o'lchangan vaqt T bo'lsa, hajmiy sarf quyidagiga teng bo'ladi:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Oqimning harakat kesimi ma'lum bo'lsa, uning tezligi (3.4) formula bilan aniqlanadi.

2. Og'irlik usulida biror idishga oqimdan suyuqlik tushiriladi. Tarozida o'lchash yo'li bilan idishdagi suyuqlikning og'irligi topiladi. Idishning to'lish vaqti T bo'lsa, og'irlik sarfi quyidagiga teng:

$$G = \frac{GV}{T}$$

Suyuqlikning hajmiy sarfi og'irlik bo'yicha sarfini solishtirma og'irlikka bo'lish yo'li bilan aniqlanadi:

$$Q = \frac{G}{\gamma}$$

bu usullar, albatta, kichik miqdordagi surlarni o'lchash uchun qo'llaniladi. Katta surlarni o'lchash uchun esa juda katta o'lchov idishlari kerak bo'ladi. Ikkinchidan, quvur va kanallarda surlni yuqoridagi usul bilan o'lchaganda oqimning tuzilishi o'zgaradi va o'lchash natijasi katta xatolar bilan chiqadi. Shuning uchun ko'pincha quvurlar va kanallardagi surf boshqa usullar bilan o'lchanadi.

3. Venturi suv o'lchagichi maxsus quvurdan suv o'tishiga moslangan bo'lib, tuzilishi sodda va harakatlanuvchi qismlari yo'qdir (3.18-rasm). Bu asbob talabga qarab vertikal yoki gorizontal joylashtiriladi. Uning gorizontal holdagisini ko'ramiz.

Venturi suv o'lchagichi ikkita bir xil d_1 diametrli 1 va 2 quvur bo'laklaridan tashkil topgan bo'lib, ular 3 va 4 diffuzorlar hamda kichik d_2 diametrli quvur bo'laki (patrubok) orqali tutashtirilgandir. Uning 1-1 va 2-2 kesimlariga pezometrik naychalar o'rnatilgan bo'lib, ular shu kesimlardagi bosimlar farqi h ni ko'rsatadi. Quvur gorizontal bo'lgani uchun ($z_1 = z_2$), 1-1 va 2-2 kesimlariga Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\rho v_1^2}{2\gamma} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{\rho v_2^2}{2\gamma} + \frac{p_2}{\gamma}$$

bundan

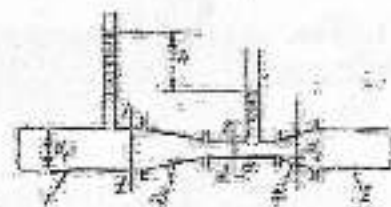
$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{\rho v_2^2}{2\gamma} - \frac{\rho v_1^2}{2\gamma}$$

lekin $\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h$ bo'lgani uchun

$$h = \frac{\rho v_2^2}{2\gamma} - \frac{\rho v_1^2}{2\gamma}$$

Uzilmaslik tenglamasi (3.14) ga asosan

$$h = \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g}$$



3.18-rasm. Venturi suv o'lchagichi.

u holda

$$h = \frac{\rho v_1^2}{2\gamma} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right]$$

bundan 2-2 kesimdagi tezlikni topamiz:

$$u_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}} \quad (3.58)$$

U holda suyuqlik sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = u_2 \omega_2 = \omega_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}} \quad (3.59)$$

Bu formula ideal suyuqlik uchun chiqarilgan. Haqiqatda ikki kesim o'rtasida bosim pasayishi va tezliklarning kesim bo'yicha bir tekis tarqalmaganligi uchun yuqoridagi formula bo'yicha olingan natija haqiqiy sarfdan farq qiladi. Shuning uchun sarf formulasiga tuzatma koeffitsiyent m ni kiritamiz:

$$Q = m \omega_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}$$

m koeffitsiyentining qiymati turli suv o'lchagichlar uchun har xil bo'lib, ular tegishli suv o'lchagich uchun tajribada aniqlab



3.19- rasm Suv o'lchagich shayba.

qo'yiladi. Hisoblash ishlarida sarf, odatda, quyidagi soddalashtirilgan formula bilan hisoblanadi:

$$Q = c \sqrt{h} \quad (3.60)$$

bu yerda

$$c = m \omega_2 \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}$$

koeffitsiyent *suv o'lchagich doimiyi* deb ataladi va har bir berilgan suv o'lchagich uchun hisoblab qo'yiladi.

4. **Suv o'lchagich shayba (diafragma)** ikki quvur bo'lagi o'rtasiga o'rnatilgan halqadan iborat bo'lib (3.19- rasm) uning ichki aylanma tekisligining chekkalari 45° burchak ostida qiyalangan yoki oqib o'tuvchi shaklida silliqilashgan (soplo ko'rinishda) bo'ladi. Halqaning ikki tomoniga ikki pezometr yoki differensial manometr o'rnatilgan bo'lib, ular diafragmaning ikki tomonidagi bosimlar farqini aniqlashga yordam beradi.

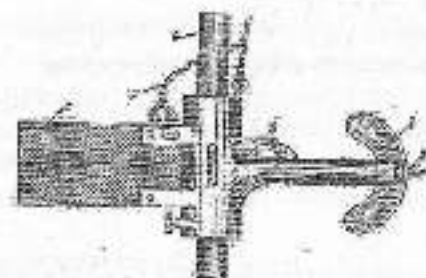
Sarf pezometrlardagi suyuqlik sathlarining farqi orqali, quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q = c_1 \sqrt{h} \quad (3.61)$$

c_1 koeffitsiyent har bir diafragma uchun tajriba asosida aniqlanadi.

5. **Vertushka (pirildoq)** va 12 ga o'rnatilgan aylanma kurakchalar 1 ga qo'lgan g'ildirak bo'lib, ussiy korpusga matkamlanadi (3.20-rasm). Vertushka suv oqimiga to'g'ri yo'naltirilishi uchun korpus 4 ga qanotcha o'rnatilgan. Vertushkadan o'tkazgichlar 3 elektr qo'ng'iroq tortilgan bo'lib, kurakchalar aylananda elektr zanjirini tutashdiradi va qo'ng'iroq jiringlaydi yoki maxsus schyotchik aylanish sonini avtomatik hisoblaydi. Suvga kushirilgan vertushkalarining kurakchalari sarfning tezligiga qarab sekinroq yoki tezroq aylanadi. Shuning uchun suyuqlikning tezligi schyotchikning ko'natkichi yoki vaqt birligida qo'ng'iroqning jiringlash soniga qarab aniqlanadi. Kanallarda suyuqlik sarfini topish uchun ularning ko'ndalang kesimini $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2, \Delta\omega_3, \dots$ elementar yuzalarga bo'lib chiqamiz (3.20-rasm). Bu yuzalarning geometrik markazlarida tezliklarni vertushka yordamida o'lchab, ularni yuzalarga ko'paytirsak, har bir kesim bo'yicha sarf kelib chiqadi:

$$q_1 = \Delta\omega_1 v_1; \quad q_2 = \Delta\omega_2 v_2; \quad \dots \dots \dots q_n = \Delta\omega_n v_n$$



3.20- rasm. Pirildoq.

Kanalda oqayotgan suyuqlik sarfi bu sarflarning yig'indisiga tengdir;

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \Delta\omega_1 v_1 + \Delta\omega_2 v_2 + \Delta\omega_3 v_3 + \dots + \Delta\omega_n v_n \quad (3.62)$$

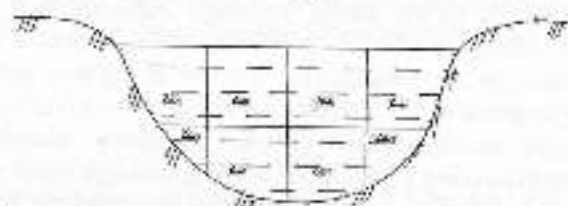
Bu usul gidrometrik o'lchashlarda eng ko'p qo'llaniladigan usuldir.

6. Pito naychasi uchi to'g'ri burchak hosil qilib egilgan naycha bo'lib, uning egilgan uchi suyuqlik oqimi yo'nalishiga qarama-qarshi qilib qo'yiladi. Naychani ikkinchi uchi suyuqlikdan tashqariga chiqib turadi. (3.21-rasm a). Bu holda ozod sirtida va naychadagi suyuqlik sathida bosim atmosfera bosimga teng. Shuning uchun naychadagi suyuqlikning balandligi h oqimning tezlik bosimini beradi, ya'ni

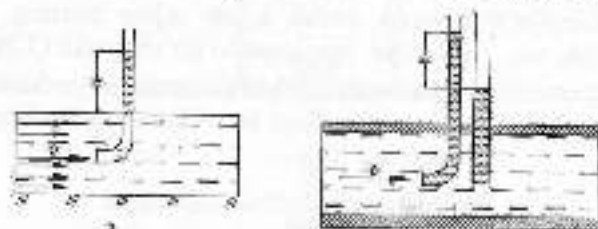
$$h = \frac{v^2}{2g}$$

Bundan tezlikni topish formulasi kelib chiqadi:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (3.63)$$



3.21-rasm. Kunallarning kesimini elementar yuzalarga bo'lish.



3.22- rasm. Tezlik o'lchagich naychalar.

Tezlikning haqiqiy miqdori (suyuqlik tushirilgan naycha harakat tartibini buzganligi uchun) oxirgi formula bilan hisoblangan miqdorga to'g'ri kelmaydi. Shuning uchun bu formulaga tuzatish koeffitsiyenti α kiritiladi:

$$v = \alpha \sqrt{2gh} \quad (3.64)$$

bu yerda α – koeffitsiyent; u har bir naycha uchun tajriba yo'li bilan aniqlab qo'yiladi.

Pito naychasi ochiq sirtli oqimlarda tezlikni o'lchash uchun qo'llaniladi.

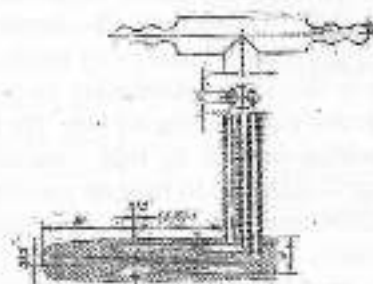
Prandtl naychasi Pito naychasining qulaylashtirilgani bo'lib, u quvurlardagi tezliklarni o'lchash uchun qo'llaniladi (3.22-rasm, b) va ikkita

naychadan iborat bo'ladi. Ulardan biri Pito naychasi va ikkinchisi pezometrdir. Pezometrdagi suyuqlik balandligi pezometrik bosimni bersa, Pito naychasidagi suyuqlik balandligi to'liq bosim $\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$ ni beradi. Shuning uchun bu ikki naychadagi balandliklar farqi tezlik bosimini beradi va uning yordamida tezlik topiladi:

$$v = \alpha \sqrt{2gh} \quad (3.65)$$

Hozirgi mavjud asboblarda bu ikkita naycha bitta katta naycha ichiga joylashtirilgan (3.22-rasm) bo'lib, ularning uchlari mikromanometr yoki differensial manometrlarga tutashirilgan. Agar manometrlardagi suyuqlik oqayotgan suyuqlikdan farq qilsa, Prandtl naychasining uchi tushirilgan nuqtadagi tezlik quyidagi formula bilan topiladi:

$$v = \alpha \sqrt{2gh \left(\frac{P_1}{\gamma} - 1 \right)} \quad (3.66)$$



3.23- rasm. Prandtl naychasi.

bu yerda h – difmanometr naychalaridagi sathlar farqi; γ_1 va γ – difmanometrdagi va tekshirilayotgan (oqayotgan) suyuqliklar solishtirma og'irliklari; α – tajribadan topiladigan qiymati 1 dan 1,04 gacha o'zgaruvchi koeffitsiyent. Prandtl naychasi yordamida suyuqlik oqimi kesimining har xil nuqtalarida tezlikni o'lchab, bu kesim bo'yicha tezlikning o'zgarishini va sarfini topish mumkin.

III bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Bosimi teng sirtning tenglamasini ko'rsating.
2. Qanday kuch zo'riqish kuchi deyiladi?
3. Tezlik va sarf o'lchash usullarining qanday turlari mavjud?
4. Hidravlik yo'qotishning turlari.
5. Tezlik va sarf o'lchash usullari.
6. Pitonaychasi.

IV BOB. SUYUQLIK HARAKATINING TARTIBLARI VA GIDRODINAMIK O'XSHASHILIK ASOSLARI

Amalda ko'p hollarda turli quvurlar sistemasini hisoblashga to'g'ri keladi. Bunday hisoblashlar kimyo, to'qimachilik, neft sanoatida, gidrotexnika inshootlarida va boshqa ko'pgina joylarda uchraydigan turli gidromashinalarning qismlari, vodoprovodlar, issiqlik almashtirgichlar kabi sistemalar uchun qo'llaniladi. Bu sistemalarni hisoblash ularda suyuqlikning qanday tezlikda va qanday sharoitda oqishiga bog'liq. Shunga asosan suyuqliklar harakatining turli tartiblari tekshiriladi va harakat tartibiga qarab turlicha hisoblash ishlari olib boriladi.

4.1. Suyuqlik harakatining ikki tartibi. Reynolds kritik soni

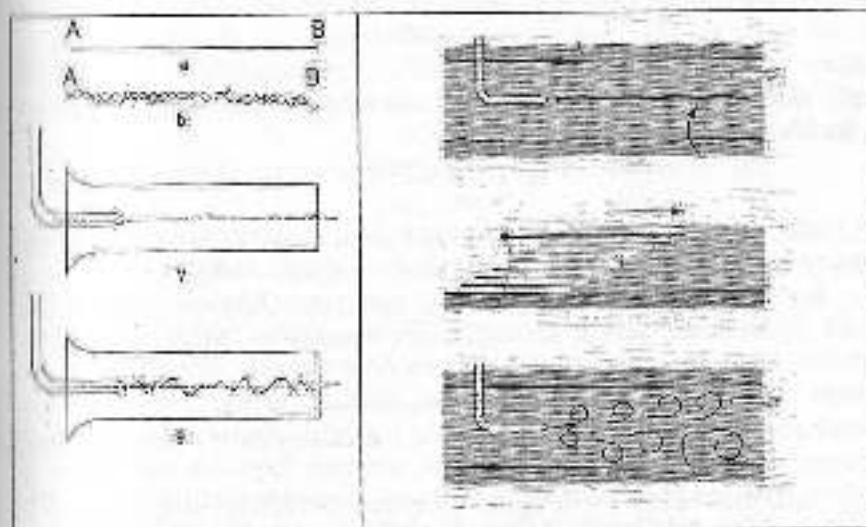
Ko'p hollarda quvurlardagi suyuqlik tekis harakatda bo'ladi, ya'ni tezlik oqim yo'nalishi bo'yicha o'zgarmaydi. Bu holda harakatning qanday bo'lishiga, asosan, ichki ishqalanish kuchi ta'sir qiladi. Bu holda uning ikki kesimidagi bosimlar farqi ishqalanish kuchining va geometrik balandliklar farqining katta yoki kichikligiga bog'liq bo'ladi. Bu kuchlarning ta'sirida quvurlardagi harakat tezligi har xil bo'lishi mumkin. Tezlikning katta-kichikligiga qarab suyuqlik zarrachalari butartib yoki betartib harakat qiladi. Bu harakatlar, odatda, asosan ikki tartibli harakatga ajratiladi: laminar harakat va turbulent harakat.

Laminar harakat vaqtida suyuqlik zarrachalari qavat-qavat bo'lib joylashadi va ular bir qavardan ikkinchi qavatga o'tmaydi. Boshqacha aytganda, suyuqlik zarrachalari oqimlar harakatiga ko'ndalang yo'nalishda harakatlanmaydi va uni quyidagicha ta'riflash mumkin.

Agar harakat fazosida biror A nuqta tanlab olsak, shu nuqtada albatta suyuqlikning biror zarrachasi bo'ladi. Harakat natijasida shu zarracha A nuqtadan siljib uning o'rnini boshqa zarracha egallaydi. Ikkinchi zarracha ham A nuqtada to'xtab turmaydi va uning o'rnini uchinchi zarracha egallaydi va hokazo. Endi A nuqtaga birinchi kelgan zarracha harakatlanib, biror B nuqtaga AB chizig'i (4.1-rasm, a) bo'yicha kelsa, uning ketidan kelgan ikkinchi zarracha ham A nuqtadan B nuqtaga AB chizig'i bo'yicha kelsa, uchinchi zarracha ham aniq AB chizig'i bo'yicha yursa va A nuqtaga kelgan boshqa zarrachalar ham AB chizig'i orqali B nuqtaga kelsa, bunday harakat *laminar harakat* deyiladi. Ba'zi vaqtda laminar harakatning bunday tartibi *parallel oqimli* yoki *tinch harakat* deb ataladi.

Laminar harakatni tajribada kuzatish uchun suyuqlik oqayotgan shisha quvurning boshlang'ich kesimiga shisha naycha orqali rangli suyuqlik keltirib qo'shib yuborsak, rang suyuqlikda aralashmasdan to'g'ri chiziqli bo'yicha oqim ko'rinishida ketadi (4.1-rasm, v).

Agar suyuqlikning tezligini oshirib borsak, harakat tartibi o'zgarib boradi. Tezlik ma'lum bir chegaradan o'tganidan keyin, zarrachalar kinetik energiyasi ko'payib ketishi natijasida, ular ko'ndalang yo'nalishda ham harakat qila boshlaydi. Natijada zarrachalar o'zi harakat qilayotgan qavardan qo'shni qavatga o'tib, energiyasining bir qismini yo'qotib, o'z qavatiga qaytib keladi. Oqim tezligi juda ostib ketsa, zarrachalar bir qavardan ikkinchi qavatga tez o'ta boshlaydi. Natijada suyuqlik harakatining tartibi buziladi. Bunday harakat turbulent harakat deyiladi.



4.1. rasm. Laminar va turbulent harakatga oid chizma

Yuqorida aytganimizdek, A nuqtadan o'tayotgan zarrachalarni ko'rsak, birinchi zarracha B nuqtaga tekis chiziqli bilan emas, qandaydir egri-bugri chiziqli bo'yicha keladi. Hatto u nuqtaga aniq kelmasligi mumkin. Birinchining ketidan kelayotgan ikkinchi zarracha ham A dan B ga egri-bugri chiziqli bilan keladi. Lekin bu chiziqli birinchi zarracha yurgan chiziqlidan farq qiladi. Uchinchi zarracha esa A dan B ga uchinchi egri-bugri chiziqli bilan keladi. Shunday qilib turbulent harakatda ixtiyoriy A nuqtadan o'tuvchi har bir suyuqlik zarrachasi B nuqtaga o'ziga xos egri chiziqli bilan keladi (4.1-rasm, b), ba'zi zarrachalar B nuqtaga kelmasligi ham mumkin.

Yuqorida aytilgan usul bilan quvurda oqayotgan suyuqlik oqimining boshlang'ich kesimida rang qo'shib yuborsak, u tezlikning ma'lum bir miqdoridan boshlab egri chiziq bo'yicha ketadi (4.1-rasm, g). Tezlikni oshirishni davom ettirsak, rang suyuqlikda butunlay aralashib ketadi. Bundan ko'rinadiki, suyuqlikning parallel oqimli tartibi buziladi. Suyuqlik harakatining bu ikki tartibini ingliz olimi O. Reynolds tajribada har tomonlama tekshirgan va natijalarini 1883 yilda e'lon qilgan. Reynolds suyuqliklar harakatining muhim qonuniyatini kashf qildi. Suyuqlik harakatini tezlikning oqim o'lchamiga ko'paytmasining qovushqoqlik kinematik koeffitsiyentiga nisbatidan iborat o'lchovsiz miqdor xarakterlar ekan. Bu miqdor olimning hurmatiga *Reynolds soni* deb ataladi va formulalarda Re bilan belgilanadi. Silindrik quvurlardagi oqim uchun Reynolds soni quyidagicha qisoblanadi:

$$Re = \frac{\rho d v}{\mu} \quad (4.1)$$

Turli shakldagi nosilindrik quvurlar va o'zamlardagi oqimlar uchun Reynolds soni quyidagicha o'lchanadi:

$$Re = \frac{\rho d_{ekv} v}{\mu} = \frac{4 R \rho v}{\mu} \quad (4.2)$$

bu yerda d – quvurning ichki diametri; d_{ekv} – o'zan yoki nosilindrik quvurning ekvivalent diametri; $d_{ekv} = 4R$; R – gidravlik radius.

Reynolds aniqlashicha, yuqorida aytilgan o'lchovsiz miqdorning kichik qiymatlarida laminar harakat bo'lib, uning oshib borishi natijasida u turbulent harakatga aylanadi. (4.1) dan ko'rinib turibdiki, Reynolds soni Re oshishi uchun yo tezlik, yoki quvur diametri ortish, yoki bo'lmasa qovushqoqlik kinematik koeffitsiyenti kamayishi kerak. Suyuqlikning laminar harakattan turbulent harakatga, o'tishini Reynolds soni Re ning ma'lum kritik miqdori bilan aniqlanadi va u Reynolds soni kritik soni deb atalib, Re_{kr} bilan belgilanadi. Bu son silindrik quvurlar uchun $Re_{kr} = 2320$.

Agar oqimni juda silliq quvurda, har qanday eng kuchsiz turtki va tebranishlardan holi bo'lgan sharoitda tekshirsak, Reynolds kritik soni 2320 dan ortiq, hatto bir necha marotaba ortiq bo'lishi mumkin. Lekin Reynolds soni ma'lum bir qiymatdan o'tganidan keyin harakat, qanday ehtiyoj choralari ko'rilmasin, albatta turbulent bo'ladi. Bu son Reynolds yuqori kritik soni deb ataladi va $Re_{kr,yu} = 10000$ ga teng bo'ladi. Bu songa qiyos qilib, yuqorida keltirilgan kritik son Reynolds quyi kritik soni $Re_{kr,q} = 2320$ deb ataladi. Reynolds soni $Re_{kr,q}$ dan kichik bo'lganda barqaror laminar harakat bo'ladi, u $Re_{kr,yu}$ dan katta bo'lganda esa turbulent harakat barqarorlashgan bo'ladi. Agar Reynolds soni bu ikki miqdor o'rtasida, ya'ni

$Re_{kr,q} > Re > Re_{kr,yu}$ bo'lsa, turbulent harakat beqaror bo'lib, bu holatni o'tkinchi tartib deyiladi. Shunday qilib, suyuqlik harakatida asosan ikki tartib laminar va turbulent tartib mavjud. Bu tushunchani yana aniqroq ifodalasak, u holda uch xil tartib mavjud bo'lib, ular Reynolds soniga bog'liq:

- 1) laminar tartib $Re < 2320$ da;
- 2) o'tkinchi tartib $2320 < Re < 10000$ da;
- 3) barqarorlashgan turbulent tartib $Re > 10000$ da.

Suyuqlik harakatini tekshirishda va turli gidrosistemalarni hisoblashda harakat tartibining qanday bo'lishiga qarab foydalaniladigan formulalar va miqdorlar turlicha bo'ladi. Shuning uchun turli hisoblashlarni bajarishdan oldin harakatning laminar yoki turbulent tartibda ekanligini (4.1) formula yordamida aniqlab olish zarur bo'ladi.

Suyuqliklarda ichki qarshiliklar ham harakat tartibiga qarab har xil hisoblanadi. Tajribalarning ko'rsatishicha, laminar harakat vaqtida bosimning pasayishi o'rtacha tezlikning birinchi darajasiga

$$H_{1-2} = k_L \theta,$$

turbulent harakatda esa uning n – darajasiga proporsional bo'ladi.

$$H_{1-2} = k_T \theta^n$$

bu yerda K_L , K_T – laminar va turbulent harakat uchun proporsionallik koeffitsiyentlari; n – daraja ko'rsatkichi; u 1,75 va 2 orasida o'zgaradi. Reynolds soni ortishi bilan daraja ko'rsatkichi n ortib boradi. Barqaror turbulent harakat bo'lganda $n = 2$ bo'ladi.

4.2. Gidrodinamik o'xshashlik asoslari. Gidrodinamik hodisalarni modellash

Texnikada gidravlik qurilmalarini yaratish yoki tabiatdagi biror voqeani tekshirish uchun laboratoriya sharoitida uning kuchaytirilgan modellarida tajribalar o'tkaziladi va bu tajribalar natijasiga qarab asosiy quritma yoki hodisa haqida xulosa chiqariladi. Modellarini yasash va ularda olingan natijalarni rostakam nusxaga o'tkazish uchun model bilan rostakam hodisani bir-biri bilan bog'lovchi qonuniyatlarni bilish zarur bo'ladi. Rostakam nusxa bilan model o'rtasidagi bu qonuniyatlar o'xshashlik qonuniyatlari deb ataladi va ularni o'xshashlik va modellash nazariyasi tekshiradi.

Ikki fizik jarayon o'xshash bo'lishi uchun uning barcha parametrlari ma'lum bir munosabatda bo'lishi kerak va bu munosabatlar turli parametrlar uchun turlicha bo'ladi.

Ikki xil voqeani bir-biriga o'xshash bo'lishi uchun birinchidan uning geometrik parametrlari o'xshash bo'lishi, ikkinchidan kinematik va dinamik parametrlari o'xshash bo'lishi kerak.

Misol uchun suvning tabiatda va texnikada kuzatilayotgan harakatda kavitatsiya hodisasi mavjud bo'lsa, uning modelida geometrik va kinematik o'xshashlik bo'lishidan tashqari xuddi shunday kavitatsiya hodisasi mavjud bo'lishi kerak. Hodisalarning o'xshashligi fizik o'xshashlik, vaqt o'xshashligi chegaraviy shartlarni o'xshashligini ham o'z ichiga olish kerak. Bular ikki o'xshash hodisalar uchun bir ismli miqdorlarning nisbatlari bir xil qiymatga ega bo'lishini taqozo qiladi. Masalan, bir hodisa uchun uzunlik o'lchamlari $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ bo'lsin, birinchiga o'xshash ikkinchi hodisaning uzunlik o'lchamlari esa $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ bo'lsin. U holda agar

$$\frac{L_1}{l_1} = \frac{L_2}{l_2} = \frac{L_3}{l_3} = \dots = \frac{L_n}{l_n} = const \quad (4.3)$$

bo'lsa bu hodisalar geometrik o'xshash bo'ladi. Xususan, $l_1, l_2, \dots, l_n$ quvurning uzunligi, diametri, tezlik yoki boshqa parametrlari o'lchanayotgan nuqtaning koordinatalari va hokazo bo'lishi mumkin. Yuqorida aytilgan hodisalar uchun tezlik o'lchamlari $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \dots, \vartheta_n$ va $\vartheta'_1, \vartheta'_2, \vartheta'_3, \dots, \vartheta'_n$ bo'lsin.

Agar

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta'_1} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta'_2} = \frac{\vartheta_3}{\vartheta'_3} = \dots = \frac{\vartheta_n}{\vartheta'_n} = const \quad (4.4)$$

bo'lsa, bu hodisalar kinematik o'xshash bo'ladi. Xususan $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n$ o'lchash olib borilayotgan nuqtalardagi tezliklardir.

Mazkur ikki hodisa uchun:

$$\frac{t_1}{t'_1} = \frac{t_2}{t'_2} = \frac{t_3}{t'_3} = \dots = \frac{t_n}{t'_n} = const \quad (4.5)$$

bo'lsa, ularda vaqt o'xshashligi mavjud.

Yuqorida keltirilgan (4.3), (4.4) va (4.5) nisbatlarning tengligini ifodalovchi o'zgarmas miqdorlar *o'xshashlik doimiysi* deb ataladi va uzunlik uchun α_L tezlik uchun α_v vaqt uchun α_t belgilar bilan belgilanadi. Shuningdek, tezlanish uchun α_a zichlik uchun α_ρ qovushqoqlik uchun α_ν va hokazo o'xshashlik doimiylarini kiritish mumkin. O'xshashlik nazariyasida yuqorida keltirilgan o'xshashlik doimiylari ikki o'xshash hodisa uchungina bo'lmay, bir qancha o'xshash hodisalar uchun bo'lsa, u holda ular *o'xshashlik aniqlovchisi* deyiladi. O'xshashlik aniqlovchilarning

o'xshashlik doimiysidan yana bir farqi ular bir qancha turli o'lchamlar kombinatsiyasining nisbati sifatida qurilishi mumkin. Masalan,

$$\frac{g_1 L_1 v_1}{g'_1 L'_1 v'_1} = \frac{g_2 L_2 v_2}{g'_2 L'_2 v'_2} = \dots = \frac{g_n L_n v_n}{g'_n L'_n v'_n} = const$$

Agar o'xshashlik aniqlovchisi oddiy o'lchamlar nisbati bilan ifodalansa, ular *simplekslar* deyiladi. Agar o'xshashlik aniqlovchisi o'lchamlar murakkab kombinatsiyalarining nisbati sifatida ifodalansa, u holda *o'xshashlik kriteriyalari* deyiladi. Misol sifatida Nyuton ikkinchi qonunini ko'ramiz. Birinchi hodisa uchun

$$F_1 = m_1 \frac{d\vartheta_1}{dt_1} \quad (4.6)$$

ikkinchi hodisa uchun esa

$$F_2 = m_2 \frac{d\vartheta_2}{dt_2} \quad (4.7)$$

ikkinchi hodisa uchun o'xshashlik doimiylari $\alpha_L, \alpha_m, \alpha_v, \alpha_t$ larni kiritsak, (4.7) birinchi hodisa parametrlari orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\alpha_L F_1 = \alpha_m \frac{ad}{ad} m_1 \frac{d\vartheta_1}{dt_1}$$

yoki

$$\frac{\alpha_L \alpha_v}{\alpha_m \alpha_t} F_1 = m_1 \frac{d\vartheta_1}{dt_1} \quad (4.8)$$

(4.6.) bilan (4.8) lar ikki o'xshash hodisalar uchun yozilganligi sababli ular bir xil bo'lishi kerak. Buning uchun o'xshashlik doimiylaridan tashkil topgan quyidagi o'zgarmas miqdor birga teng bo'lishi kerak.

$$C = \frac{\alpha_L \alpha_v}{\alpha_m \alpha_t} = 1$$

bundan

$$\frac{F_1 L_1}{m_1 \vartheta_1} = 1 \Leftrightarrow \frac{F_1 L_1}{m_1 \vartheta_1} = \frac{F_2 L_2}{m_2 \vartheta_2}$$

Bu munosabat bir nechta o'xshash hodisalar uchun umumlashtirsak, quyidagi o'xshashlik aniqlovchisini olamiz

$$Ne = \frac{F L}{m \vartheta} = const$$

hanga *Nyuton mezon*i deyiladi.

Gidrodinamik o'xshashlikni quyidagi kriterial miqdorlar aniqlaydi.

*Struxal mezon*i yoki *gomoxronlik mezon*i

$$Sh = \frac{l}{\vartheta} \quad (4.9)$$

Reynolds mezon

$$Re = \frac{W}{\nu} \quad (4.10)$$

Eyler mezon

$$Eu = \frac{p}{\rho g^2} \quad (4.11)$$

Prud mezon

$$Fr = \frac{g}{u^2} \quad (4.12)$$

Bu kriterial miqdorlar yuqorida keltirilgan usulni Nave-Stoks tenglamasiga qo'llash yo'li bilan olinadi.

Birinchi hodisa uchun Nave-Stoks tenglamalar sistemasidan birinchi tenglamani yozumiz:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + g \cos \alpha, \quad (4.13)$$

bu yerda $g \cos \alpha$ og'irlik kuchining O_x o'qidagi proyeksiyasi. Bu tenglamaga (4.7) va (4.8) lardagi kabi o'xshashlik doimiysini kiritdik, u quyidagi ko'rinishga keladi

$$\frac{\alpha_x}{\alpha_1} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\alpha_x^2}{\alpha_1} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\alpha_x}{\alpha_1} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\alpha_x}{\alpha_1^2} \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \alpha_x g \cos \alpha,$$

tenglamani ikki tomoni $\frac{\alpha_x^2}{\alpha_1}$ ga bo'lsak, u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\alpha_x}{\alpha_1} \frac{\partial u}{\partial t} + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\alpha_x}{\alpha_1} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{\alpha_x}{\alpha_1} g \cos \alpha, \quad (4.14)$$

Ikki hodisa o'xshash bo'lsa, ularni ifodalovchi tenglamalar bir xil bo'ladi. Ikki hodisa o'xshashligidan (4.13) va (4.14) tenglamalar bir xil bo'lishi kerakligi kelib chiqadi. Bundan ko'rinadiki

$$1) \frac{\alpha_x}{\alpha_1} = 1; 2) \frac{\alpha_x}{\alpha_1} = 1; 3) \frac{\alpha_x}{\alpha_1} = 1; 4) \frac{\alpha_x}{\alpha_1} = 1.$$

Birinchi kombinatsiyadagi o'xshashlik doimiylarini o'z o'rniga qo'ysak

$$\frac{l_1}{g_1 l_1} = 1, \text{ ya'ni } \frac{l_1}{g_1 l_1} = \frac{l_2}{g_2 l_2}$$

Gidrodinamik o'xshash voqealar uchun Struxal mezon bir xil bo'lishi kerak:

$$Sh = \frac{l}{g l} = \text{const}$$

Ikki kombinatsiyadan

$$\frac{P_1}{\rho_1 \frac{\partial^2}{\partial t^2}} = 1; \frac{P_1}{\rho_1 \frac{\partial^2}{\partial t^2}} = \frac{P_2}{\rho_2 \frac{\partial^2}{\partial t^2}}$$

Demak, gidrodinamik o'xshash voqealar uchun Eyler mezon bir xil bo'lishi kerak:

$$Eu = \frac{P}{\rho g^2} = \text{const}$$

Uchinchi kombinatsiyadan

$$\frac{v_1}{g_1 l_1} = 1; \frac{v_1}{g_1 l_1} = \frac{v_2}{g_2 l_2}$$

O'xshash voqealar uchun yuqoridagilardan tashqari Reynolds mezon ham bir xil bo'lishi kerak:

$$Re = \frac{W}{\nu} = \text{const}$$

To'rtinchi kombinatsiyadan

$$\frac{g_1 l_1}{g_1^2} = 1; \frac{g_1 l_1}{g_1^2} = \frac{g_2 l_2}{g_2^2}$$

Gidrodinamik hodisalar o'xshash bo'lishi Prud mezonining ham bir xil bo'lishini taqozo qiladi:

$$Fr = \frac{g}{u^2} = \text{const}$$

Yuqorida ko'rib o'tilganlardan gidrodinamik o'xshashlik to'rtta tenglikni bajarilishi bilan ta'minlanadi. Bundan kelib chiqadiki, bu kriterial miqdorlar o'rtasida qandaydir munosabat mavjud bo'lib u

$$\varphi_1(Sh, Eu, Re, Fr) = 0 \quad (4.15)$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Agar harakat barqaror bo'lsa u holda (4.15) ning o'rniga

$$\varphi_2(Eu, Re, Fr) = 0 \quad (4.16)$$

munosabatdan foydalanamiz.

(4.15) va (4.16) munosabatlar kriterial tenglamalar deb ataladi va Nave - Stoks tenglamasini yechib bo'lmaydigan hollarda ulardan foydalaniladi. Bu munosabatlarning Nave-Stoks tenglamasidan farqi shundaki, ular kriterial miqdorlar o'rtasidagi bog'lanishni noaniq ko'rinishda ifodalaydi. Nave-Stoks tenglamasi esa harakat parametrlari orasidagi bog'lanishni aniqlangan ko'rinishda beradi, lekin ko'p hollarda bu tenglamani yechish qiyin, ba'zan esa yechish mumkin emas.

Kriterial tenglamalardan foydalanish uchun tekshirilayotgan voqeaning modelini laboratoriya sharoitida yaratib, unda tajriba o'tkazamiz. Tajribadan olingan natijalarni esa (4.15) yoki (4.16) tenglamani aniqlangan ko'rinishga keltirish uchun foydalanamiz. Ko'p hollarda (4.16) tenglamani ham soddalashtirib, og'irlik kuchi harakatga kam ta'sir etadigan hollarga

$$\rho_s(Eu, Re) = 0 \quad (4.17)$$

ko'rinishida qo'llaymiz. Oxirgi tenglama yuquri hosim ostida bo'ladigan hodisalar uchun yaqin keladi.

IV bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Suyuqlik harakatining tartiblari.
2. Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi.
3. Laminar harakat tartibining xususiyatlari.
4. Reynolds soni.

V BOB. SUYUQLIKLARNING LAMINAR HARAKATI

5.1. Tezlikning silindirik quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishi

Qovushqoq suyuqliklar quvurda laminar harakat qilganda uning esimchalari bir-biriga parallel harakat qiladi. Quvur devorlari esa unga yopishib qolgan suyuqlik zarrachalari bilan qoplanadi. Shunday qilib, quvur devoridagi suyuqlik zarrachalarining tezligi nolga teng. Suyuqlikning devorga yopishgan qavatidan keyingi qavati esa suyuqlik zarrachalari bilan qoplangan quvur devori ustida sirpanib boradi. Agar quvur ichidagi suyuqlikni xayolan cheksiz ko'p yupqa qavatlariga ajratsak, u holda har bir qavat o'zidan oldingi qavat sirtida siljib boradi. Yuqorida aytilganga ko'ra quvur devori sirtidagi qavatning tezligi nolga teng bo'lib, quvur o'qiga yaqinlashgan sari tezlik oshib boradi. O'qda esa tezlik maksimal qiymatga ega bo'ladi. Shuning uchun quvur ichidagi ishqalanish kuchi Nyuton qonuni bilan ifodalanadi:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr}$$

Quvur ichida uzunligi l va radiusi r bo'lgan elementar naycha ajratib olamiz (5.1-rasm). Bu naychani yuzalari $d\omega$ bo'lgan 1-1 kesimi bo'yicha p_1 bosim, 2-2 bo'lgan kesim bo'yicha esa p_2 bosim ta'sir qilsin. Radiusi R bo'lgan tekshirilayotgan quvurdagi harakat gorizontal va tekis bo'lsin. U holda elementar naychaga ta'sir qilayotgan kuchlar

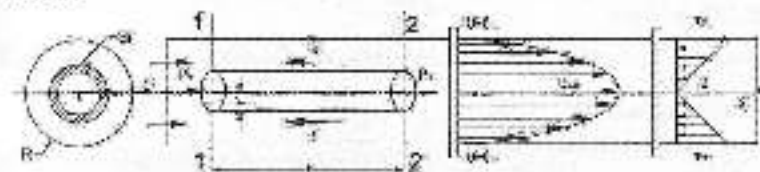
$$\text{1-1 kesimdagi bosim kuchi} \quad P_1 = p_1 d\omega$$

$$\text{2-2 kesimdagi bosim kuchi} \quad P_2 = p_2 d\omega$$

ishqalanish kuchi

$$T = r 2\pi l = -\mu 2\pi l \frac{du}{dr}$$

dan iborat.



5.1-rasm. Laminar harakatda tezlikning quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishi.

U holda elementar naychani muvozanat shartidan quyidagini yozsa olamiz.

$$P_1 - P_2 - T = 0 \quad (5.1)$$

Elementar naycha kesimi $dS = \pi r^2$ ekanligini nazarda tutib, (5.1) dan quyidagi tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$\pi^2 p_1 - \pi^2 p_2 + \mu 2\pi r \frac{du}{dr} = 0$$

Bu tenglamadan ushbu differensial tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$\frac{du}{dr} = \frac{r}{2\mu} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (5.2)$$

Oxirgi tenglamaning o'zgaruvchilarini ajratamiz

$$du = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} r dr$$

va chap tomoni u dan 0 gacha, o'ng tomonini esa r dan R gacha integrallab, tezlik uchun munosabat keltirib chiqaramiz:

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^2 - R^2) \quad (5.3)$$

Hosil qilingan tenglama parabola tenglamasi bo'lib, u tezlikning silindrik quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishini ko'rsatadi. (5.3) dan ko'rinib turibdiki, quvurdagi harakat tezligi $r = 0$ da maksimumga erishadi

$$u_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} R^2 \quad (5.4)$$

Demak, silindrik quvurda laminar harakat tezligi ko'ndalang kesimda parabola qonuni bo'yicha taqsimlangan bo'ladi. Tezlikning maksimal qiymati esa quvurning o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Endi quvurda oqayotgan suyuqlikning sarfini topamiz. Eni dr ga teng bo'lgan halqa bo'yicha oqayotgan (5.1-rasm) elementar sarf quyidagiga teng bo'ladi:

$$dQ = 2\pi r du$$

Oxirgi tenglikka (5.3) dan tezlikning formulasini qo'ysak, quyidagini olamiz:

$$dQ = -2\pi \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^3 - R^3) dr.$$

Bu tenglikning chap tomonini 0 dan Q gacha o'ng tomonini esa 0 dan R gacha integrallab

$$Q = -\int_0^Q 2\pi \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^3 - R^3) dr = -\pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \int_0^R (r^3 - R^3) r dr = -\pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \left(\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4} \right) = \frac{\pi R^4}{8\mu l} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (5.5)$$

munosabatni olamiz.

Bu holda o'rtacha tezlikni shunday topamiz:

$$g = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\mu l \pi R^2} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} R^2 \quad (5.6)$$

(5.6) va (5.4) munosabatlarni solishtirib quvurda laminar harakat vaqtida o'rtacha tezlik bilan maksimal tezlik orasidagi munosabatni topamiz:

$$g = \frac{u_{\max}}{2} \quad (5.7)$$

Demak, silindrik quvurda laminar harakat vaqtida o'rtacha tezlik maksimal tezlikdan ikki marotaba kichik ekan.

5.2. Quvur uzunligi bo'yicha energiyani yo'qolishi (Poazeyl formulasi)

Endi quvurda oqayotgan suyuqlik energiyasining ishqalanishni yengishga sarflanishini tekshiramiz. Avval quvur kesimi bo'yicha ishqalanish kuchining taqsimlanishini ko'ramiz. Buning uchun Nyuton qonuni formulasiga tezlik formulasi (5.3) ni qo'yamiz.

U holda,

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = \frac{p_1 - p_2}{2l} r \quad (5.8)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, ishqalanish kuchi quvur o'qida nolga teng bo'lib, uning o'qidan devorlariga qarab chiziqli ortib boradi va devor sirtida eng katta qiymatga erishadi (5.1-rasm) (3.56) tenglamada silindrik quvurdagi uzunlik bo'yicha gidravlik yo'qotishni ishqalanish kuchi orqali berilgan edi. Endi bu formulaga (5.8) munosabatni qo'ysak.

$$H_s = \frac{p_1 - p_2}{\gamma 2l} R \frac{2R}{\pi R^2} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

Kesimlardagi bosim farqi ($p_1 - p_2$) ni (5.6) formuladan o'rtacha tezlik orqali ifodalasak:

$$p_1 - p_2 = \frac{2\mu l}{R^2} g = \frac{32\mu l}{l^2} g$$

va gidravlik yo'qotish formulasiga qo'ysak, quyidagi munosabatni olamiz:

$$H_s = \frac{8\mu l}{\gamma D^2} g \quad (5.9)$$

U holda gidravlik qiyalik uchun formula chiqarish qiyin emas. Buning uchun (5.9) ning ikki tomonini l ga bo'larniz

$$\frac{H_s}{l} = \frac{32\nu}{g D^2} g \quad (5.10)$$

va oxirgi tenglikni quyidagicha yozamiz:

$$f = \frac{232\nu}{g D^2 D^2} g^2 = \frac{64\nu}{3272 g D} g^2$$

Silindrik quvurlar uchun Reynolds soni

$$Re = \frac{g D}{\nu}$$

ko'rinishda yozilgani uchun

$$f = \frac{64}{Re^2} g^2$$

Demak, laminar harakat vaqtida gidravlik qiyalik va bosimning pasayishi Reynolds soniga bog'liq ekan. $\frac{64}{Re}$ ko'rinishdagi miqdorni gidravlikada λ bilan belgilanadi:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (5.11)$$

va ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti deb ataladi. U holda energiya yaroqolishi va gidravlik qiyalik uchun quyidagicha Darsi - Veysba formulasi olamiz.

$$H_f = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (5.12)$$

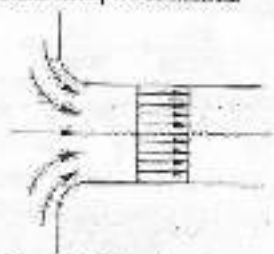
$$J = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^3}{2g}$$

Shunday qilib, laminar harakat vaqtida quvur uzunligi bo'yicha bosimning pasayishi va gidravlik qiyalik solishtirma kinetik energiya chiziqli bog'liq ekan.

5.3. Oqimning boshlang'ich bo'lagi

Yuqorida aytilgan harakat qonunlari quvurdagi barqarorlashgan laminar oqimlar uchun to'g'ridir. Haqiqatda esa, quvurga endi kirgan suyuqlik boshlang'ich kesimdan boshlab ma'lum masofa o'tgandan keyingina laminar harakatga doir bo'lgan parabolik qonun bo'yicha taqsimlangan bo'ladi.

Laminar harakatning quvurda rivojlanishini quyidagicha tasavvur qilish mumkin. Hajmi juda katta idishdan suyuqlik quvurga kirsin va quvur kirish qismining chekkalari yaxshilab dumaloqlangan bo'lsin. Bu holda boshlang'ich kesimda tezlik deyarli o'zgarmas bo'ladi. Bu qonun faqat *chegara* (yoki devoroldi) qatlam deb ataluvchi devor ustidagi yupqa qavatdagina buziladi. Bu qavatda suyuqlikning devorga yopishishi natijasida tezlik keskin kamayib, devorda nolga tenglashadi. Shuning uchun kirish qismida tezlik chizig'i to'g'ri chiziqli kesmasi (5.2-rasm) bilan aniq ifodalanadi.



5.2-rasm. Naycha kirishdagi tezlik taqsimotiga doir.

Kirish qismidan uzoqlashgan sari devorlardagi ishqalanish kuchi ta'sirida chegara qatlamlariga yaqin qavatlarda harakat sekinlashib boradi va natijada bu qatlamning qalinligi oshib boradi harakat esa sekinlashib boradi. Oqimning ishqalanish kuchi hali ta'sir qilmagan markaziy qismi esa bir tomon harakat qilishni davom ettiradi, ya'ni hoshqacha aytganda markaziy qavatlarda tezlik deyarli bir xil bo'lgani holda (oqayotgan suyuqlikning harakat miqdori o'zgarmas bo'lgani uchun) chegara qatlamda tezlik kamaygani sababli yadroda tezlik oshadi.

Shunday qilib, quvurning o'rta qismida (yadroda) tezlik oshib boradi, devor yaqinida o'sib boruvchi chegara qatlamda kamayadi. Bu jarayon chegara qatlam oqim kesimini butunlay egallab olmaguncha va yadro butunlay yo'q bo'lib ketguncha davom etadi (5.3-rasm).



5.3-rasm. Laminar harakatning quvurda rivojlanib borishiga doir chizma.

Shundan keyin oqimning rivojlanishi tugab, tezlik chizig'i odatdagi laminar oqimga xos parabolik shaklni qabul qiladi. Quvurning boshlang'ich kesimidan doimiy parabolik tezlik vujudga kelguncha bo'lgan bo'lagi laminar harakatning boshlang'ich bo'lagi deb ataladi. Bu bo'lakning uzunligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$L_{\text{bosh}} = 0,028 R_{\text{e}} D \quad (5.13)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, boshlang'ich bo'lak Reynolds soniga va quvurning diametriga proporsional ekan. Gidrotexnika kursida bu masalani nazariy usul bilan hal qilingan bo'lib, olingan formulalar tajribada qiymatlarga juda yaqin keladi.

5.4. Tekis va halqasimon tirqishlarda suyuqlikning laminar harakati

Yuqorida biz laminar harakatning eng sodda turlaridan biri silindrik quvurdagi tekis harakatni ko'rgan edik. Texnikada esa murakkab harakatlar ko'p ushraydi. Bularga tekis va halqasimon tirqishlardagi harakatlarni misol qilib keltirish mumkin. Bunday harakatlar gidravlik mashinalar va agregatlarni germetiklash, ularning harakatlanuvchi elementlarini

mustahkam herkitish ishlari orada tirqish qoldirib bajariladi. Porshenli nasoslar va gidrouzatlarda plunjer bilan silindr orasidagi tirqish ham yuqoridagi aytilgan harakatlarga misol bo'la oladi.

Uzunligi l , eni b , balandligi c bo'lgan tekis tirqishdagi laminar, bir tekis harakatni ko'ramiz (5.4-rasm).

Ko'rilayotgan tirqishda uzunligi l , eni b va balandligi y bo'lgan parallelepiped ajratamiz. Bu parallelepipedga $I-I$ kesimi bo'yicha Ox o'qi yo'nalishida

$$P_1 = p_1 by$$

2-2 kesimi bo'yicha

$$P_2 = p_2 by$$

bosim kuchlari ta'sir etadi.

Parallelepipedning ustki sirtiga

$$T_1 = \tau_1 b l = -\mu \frac{du}{dy} b l$$

va ostki sirtiga

$$T_2 = \tau_2 b l$$

ishqalanish kuchlari ta'sir etadi va ular ham Ox o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Ko'rilayotgan hajmdagi suyuqlikning muvozanatda bo'lishi sharti bo'yicha yuqorida keltirilgan kuchlardan quyidagi tenglama hosil qilinadi.

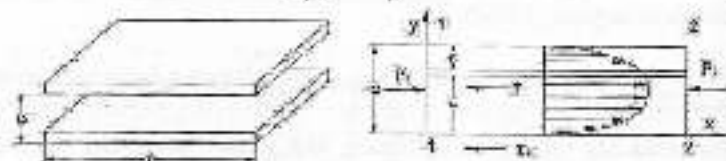
$$P_1 - P_2 - T_1 - T_2 = 0 \quad (5.14)$$

Bu tenglama quyidagi ko'rinishga keladi.

$$\frac{du}{dy} = -\frac{p_1 - p_2}{\mu l} y + \frac{\tau_0}{\mu} \quad (5.15)$$

Suyuqlikning qovushqoqlik shartiga asosan tirqishning pastki devorida ($y=0$) tezlik nolga teng. (5.15) tenglamaning chap tomonini 0 dan u gacha, o'ng tomoni 0 dan y gacha integrallab, quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} y^2 + \frac{\tau_0}{\mu} y \quad (5.16)$$



5.4-rasm. Tekis tirqishda suyuqlikning laminar harakatiga doir chizma.

Ikkinchi devorda ($y=c$) ham tezlik nolga teng. Bu shartdan foydalanib ushbu tenglikni yozamiz.

$$0 = \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} c^2 + \frac{\tau_0}{\mu} c$$

Oxirgi tenglikdan τ_0 ni topamiz.

$$\tau_0 = \frac{p_1 - p_2}{2l} c$$

va (5.16) ga qo'yamiz. Natijada tezlik uchun quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} y(y - c) \quad (5.17)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, tekis tirqishdagi tezlik parabolik qonunga bo'ysunar ekan. Tezlik $y = \frac{c}{2}$ da maksimal qiymatga erishadi, ya'ni:

$$u_{max} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} c^2 \quad (5.18)$$

Suyuqlik sarfini topish uchun qalinligi dy ga teng bo'lgan elementar qavat olib, uning ko'ndalang kesimidan oqayotgan suyuqlikning sarfini topamiz.

$$dQ = b dy u$$

U holda suyuqlik sarfi quyidagicha aniqlanadi.

$$Q = \int dQ = b \int_0^c u dy = b \int_0^c \left[-\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} y(y - c) \right] dy = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} b \left[\frac{y^2}{2} (y - c) - \frac{c y^2}{2} \right]_0^c = \frac{p_1 - p_2}{12\mu l} b c^3 \quad (5.19)$$

Bu formula yordamida tirqishdan oqib ketayotgan suyuqlik miqdorini aniqlash mumkin.

O'rtacha tezlikni topish uchun sarfni oqimning kesimiga bo'lamiz, ya'ni

$$g = \frac{Q}{\omega} = \frac{p_1 - p_2}{12\mu l} \frac{c^3}{cb} = \frac{p_1 - p_2}{12\mu} \frac{c^2}{b} \quad (5.20)$$

(5.18) va (5.20) tenglamalarni o'zaro taqqoslab, o'rtacha tezlik bilan maksimal tezlik o'rtasidagi bog'lanishni topamiz: $g = \frac{2}{3} u_{max}$. Bundan ko'rinadiki, ko'rilayotgan holda maksimal tezlik o'rtacha tezlikdan bir yarim marta katta ekan.

Tekis tirqishdan oqayotgan suyuqlik uchun gidravlik yo'qotishni topamiz.

$$H_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

(5.20) dan $(p_1 - p_2)$ ni o'rtacha tezlik orqali quyidagicha ifodalab

$$p_1 - p_2 = \frac{12\mu l}{c^2} g$$

uni gidravlik yo'qotish formulasiga qo'ysak, ushbu munosabat hosil bo'ladi.

$$H_f = \frac{12\mu l}{\gamma c^2} g$$

Tirqishning gidravlik radiusi

$$R = \frac{68}{\lambda} = \frac{16}{2(c+b)} \approx \frac{c}{2}$$

bo'lishni va Reynold's soni $Re = \frac{\rho R v}{\mu}$ ni nazarga olib, gidravlik yo'qotishni quyidagicha yozamiz:

$$H_s = \frac{12v}{g c^3} \theta = \frac{24v}{g 4R} \frac{\theta^2}{2g} = \frac{96}{Re} \frac{1}{Re} \frac{\theta^2}{2g} \quad (5.21)$$

Agar silindrik quvurdagi laminar harakat tekshirilgandagi kabi

$$\lambda = \frac{96}{Re} \quad (5.22)$$

belgilashni kiritdik, ushbu munosabatni olamiz.

$$H_s = \lambda \frac{l}{4R} \frac{\theta^2}{2g} \quad (5.23)$$

Oxirgi munosabatdan foydalanib gidravlik qiyalikni hisoblash formulasini olamiz.

$$J = \frac{H_s}{l} = \lambda \frac{1}{4R} \frac{\theta^2}{2g} \quad (5.24)$$

Bu olingan formulalar ma'lum hollarda konsentrik halqasimon tirqishlardagi laminar harakat uchun ham qo'llanilishi mumkin.

Masalan, plunjer diametri d_1 tirqishning qalinligidan juda katta bo'lsa ($d_1 \gg c$), plunjer bilan silindr orasidagi halqasimon tirqish uchun qo'llaniladi. Bu holda suyuqlik sarfini hisoblash uchun (5.19) dagi b o'miga d_1 ni qo'yish kerak. Eksentrik halqasimon tirqishlar uchun sarfini hisoblashda esa (5.19) dagi b o'miga $\pi \frac{d_1 + d_2}{2} = \pi(d_1 + c)$ ni qo'yish kerak; bu yerda c – plunjer va silindr o'qlari orasidagi eksentrisitet. Agar tirqishning qalinligi plunjer diametriga yaqin miqdorlarda o'lchanadigan bo'lsa, u holda halqasimon tirqishdagi harakat uchun boshqacha formulalar chiqarish kerak bo'ladi.

Diametrlari d_1 va d_2 , uzunliklari l bo'lgan plunjer va silindr orasidagi tirqishda (5.5-rasm) laminar harakat qilayotgan suyuqlik oqimini tekshiramiz. Radiusi r_1 va r bo'lgan ikki silindr orasidagi suyuqlik muvozanatini ko'ramiz.

1-1 kesim yuzasi bo'yicha Ox o'qi yo'nalishida

$$P_1 = p_1 \pi (r_1^2 - r^2)$$

kuch, 2-2 kesim yuzasi bo'yicha

$$P_2 = p_2 \pi (r_2^2 - r^2)$$

kuch ta'sir qiladi.

Ichki silindr sirti bo'yicha

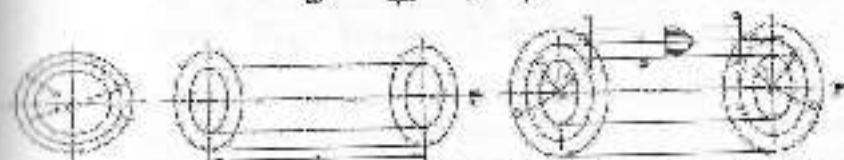
$$T_1 = \tau_0 2\pi r l$$

Tashqi silindr sirti bo'yicha esa

$$T_2 = \tau_0 2\pi r l = \mu \frac{du}{dr} 2\pi r l$$

kuchlar ta'sir qiladi. Bu holda avvalgi masaladagi kabi suyuqlik hajmining muvozanat sharti bo'yicha quyidagi tenglamani olamiz.

$$\frac{du}{dr} = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \frac{r^2 - r_1^2}{r} + \frac{\tau_0}{\mu r}$$



5.5-rasm. Halqasimon tirqishda suyuqlikning laminar harakatiga doir chizma.

Suyuqlikning tezligi $r = r_1$ da nolga teng bo'ladi. Shuning uchun (5.25) tenglamaning chap tomonini O dan u gacha, o'ng tomonini r_1 dan r gacha integrallab, ushbu munosabatni olamiz.

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \left[(r^2 - r_1^2) - 2\ln \frac{r}{r_1} \right] + \frac{\tau_0}{\mu} \ln \frac{r}{r_1}$$

Silindrning sirtida ($r = r_2$) ham tezlik nolga teng.

Shuning uchun

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \left[(r_2^2 - r_1^2) - 2\ln \frac{r_2}{r_1} \right] + \frac{\tau_0}{\mu} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Bu tenglikdan $\frac{\tau_0}{\mu}$ ni topamiz.

$$\frac{\tau_0}{\mu} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \left[(r_2^2 - r_1^2) \frac{1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} - 2 \right]$$

va (5.26) ga qo'yamiz. Shunday qilib, tezlikning kesim bo'yicha taqsimlanishi uchun ushbu munosabatni olamiz.

$$u = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \left[(r_2^2 - r_1^2) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} - (r^2 - r_1^2) \right]$$

$r_2 - r_1 = c$ ning miqdori r_1 dan juda kichik bo'lganda bir qancha amallardan keyin (5.27) dan (5.17) ni keltirib chiqarish mumkin. Bu esa yuqorida aytilgan fikrlarni yana bir bor tasdiqlaydi. Halqasimon tirqishdan oqayotgan

suyuqlikning maksimal tezligi avvalgidok tirqish balandligining o'rtacha qismiga to'g'ri kelmaydi. Maksimal tezlikni topish ancha murakkab bo'lgani uchun biz uni keltirmaymiz.

Halqasimon tirqishdan oqayotgan suyuqlikning sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q = 2\pi \left[\frac{r_2^3 - r_1^3}{3} - \frac{P_2 - P_1}{8\mu l} \frac{r_2^5 - r_1^5}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right] \quad (5.25)$$

U holda o'rtacha tezlikni topish uchun sarfni kesim $\pi(r_2^2 - r_1^2)$ ga bo'luriz.

$$\bar{v} = \frac{P_2 - P_1}{8\mu l} \frac{(r_2^2 + r_1^2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (5.26)$$

Gidravlik yo'qotish esa quyidagicha hisoblanadi.

$$H_f = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{8\mu l \ln \frac{r_2}{r_1}}{(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1} - (r_2^2 - r_1^2) \frac{1}{2}} \bar{v}$$

Gidravlik radius

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi(r_2^2 - r_1^2)}{2\pi(r_2 - r_1)} = \frac{r_2 + r_1}{2}$$

Detnalk, Reynolds soni

$$Re = \frac{64R}{\nu} = \frac{32(r_2 - r_1)}{\nu}$$

Buni nazarda tutib,

$$\lambda = \frac{64(r_2^2 - r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1}}{Re \left[(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1} - (r_2^2 - r_1^2) \frac{1}{2} \right]} \frac{l}{2R} \frac{\bar{v}^2}{2g}$$

Avvalgi hollarda belgilashni kiritamiz.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \frac{(r_2^2 - r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1}}{(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1} - (r_2^2 - r_1^2) \frac{1}{2}}$$

U holda

$$H_f = \lambda \frac{l}{2(r_2 - r_1)} \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad (5.27)$$

Gidravlik nishablik uchun esa

$$J = \frac{H_f}{l} = \lambda \frac{1}{2(r_2 - r_1)} \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad (5.28)$$

Eksentrik halqasimon tirqishlar uchun hisoblash formulalari murakkab bo'lgani uchun ularni ushbu kitobga kiritmadik.

5.5. Laminar oqimning maxsus turlari (o'zgaruvchan qovushqorlik, obliteratsiya)

Mashinalar gidravlikasini yaratish rus olimlari A.A.Sablukov, V.A.Pusheshnikov, V.G. Shuxov va boshqalarning nomlari bilan bog'langan.

Gidrodinamikada mashinalarni moylash (boshqacha aytganda suyuqliklar yordamida qarshilikni kamaytirish) ustida ko'p olimlar ishlagan. Bu ishlarning asoschisi mashhur rus olimi N.P. Petrovdir. U o'z ishlarida moylash masalalarini hal etishda Nyuton gipotezasini qo'llash mumkin ekanligiga katta ahamiyat bergan edi. Petrov bu ishlarda sharchalarning podshipniklar o'rtasidagi harakatini bir o'qli silindrlar orasidagi laminar harakat masalasi sifatida ko'rish mumkin ekanligini ko'rsatdi. N.P. Petrov o'tkazgan juda ko'p tajribalar uning nazariyasini tasdiqlabgina qolmay, o'sha davrida mineral moylar harakatiga doir ko'pgina masalalarning hal etilishiga yordam beradi.

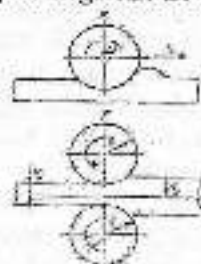
N.P. Petrov o'z nazariyasini yaratishda va tajribalarida podshipnik halqalari tez aylangani sari suyuqlik ularga oz-ozdan ta'sir qilib borishini ko'rsatdi. Bu ta'sir natijasida podshipnik ichki va tashqi halqalarning o'qi podshipnik o'qidan og'adi, lekin bu og'ish juda ham kam. Bu aytilganlarga asosan u moylovchi qavat uchun harakat tenglamasining soddalashtirilgan ko'rinishini keltirib chiqardi. Podshipnik halqalarining sezilarli darajada eksentrik joylashuvi qo'shimcha kuchlarni vujudga keltiradi va u valdagi zo'riqlashlarni muvozanatlaydi. N.P. Petrov bu masalani ikki egri sirt orasidagi suyuqlik harakati sifatida ko'radi. Bu nazariyani davom ettirib N.E. Jukovskiy va S.A.Shapliginlar ship va podshipnikning eksentrik joylashgan holati nazariyasini yaratdilar.

Yuqorida keltirilgan ikki tekis sirtlar orasidagi tirqishda suyuqliklar harakatini N.P. Petrov yechgan masalaning juda soddalashtirilgan ko'rinishi deb qarash mumkin, lekin bu soddalashtirish shunchalik kuchliki, olingan natijalar podshipnikdagi moyning harakatini ifodalab bera olmaydi.

N.P. Petrov nazariyasi boshqa bir qancha masalani yechishga yordam beradi. Bularga qovushqor suyuqlikning yupqa qavati bilan qoplangan sirt ustida silindrning dumalashi (5.6-rasm) masalasi kiradi. Bu masalaning yechilish usuli qizdirilgan metallni prokatlash ishlarida ham qo'llaniladi. Bu holda tajribalar shuni ko'rsatadiki, qizdirib prokatlanayotgan metall juda

qovushqoq suyuqlikka o'xshash xossaga ega bo'ladi. Bu hodisani birinchi bo'lib I.V. Meshcherskiy tekshiradi. Uning yechimlari S.M. Targning monografiyasida keltirilgan.

Avvalgi paragrafda keltirilgan tekis va silindrik sirtlar orasidagi tirqishda harakat qilayotgan suyuqlik harakati masalalari plunjerning silindri ichidagi harakatiga yana ham yaqinroq bo'lish uchun bu sirtlarning birini biror V tezlik bilan harakatlantirayotgan deb qarash kerak bo'ladi. Bu masalalarning yuqorida keltirilgan yechimlarida yana bir narsa hisobga olinmagan. Plunjer silindri ichida harakat qilgan vaqtida ishqalanish kuchining ta'sirida qizib ketishi mumkin. Natijada ikki silindr orasidagi tirqishda oqayotgan suyuqlik ham qiziydi. Bunday hodisa sharikli podshipniklarda ham bo'ladi. Moylovchi suyuqlik qizishi bilan uning qovushqoqlik koeffitsiyenti o'zgaradi. Biz qovushqoqlik koeffitsiyentining temperaturaga bog'liqligini kinematik qovushqoqlik koeffitsiyentiga bog'ishlangan paragrafda ko'rgan edik va temperatura ortishi bilan qovushqoqlikning kamayishi haqida to'xtalib o'tgan edik. Qovushqoqlikning temperaturaga bog'liqligi haqidagi masalalar akademik L.S. Leybenzon va akademik M.A. Mixeyevlar tomonidan yechilgan bo'lib, tirqishlarda suyuqlikning harakati qovushqoqlik koeffitsiyentining o'zgaruvchanligiga bog'liqligi hisobga olib ko'rilgan.



5.6 -rasm. N.P. Petrov nazariyasini izohlashga oid rasm.

Qovushqoqlikning temperaturaga bog'liqligi suyuqlik tashqi muhit bilan issiqlik almashganda ishqalanish qarshiligining o'zgarishiga olib keladi. Agar tashqi muhit suyuqlikka qaraganda sovuqroq bo'lsa, uning tashqi muhitga issiqlik berishi natijasida suyuqlikning quvur devoriga yaqinroq qavatlarda qovushqoqlik ortadi. Natijada bu qavatlardagi harakatning sekinlanishi tezkor bo'ladi, bu esa tezlik gradiyentining kamayishiga olib keladi.

Tashqi muhit issiqroq bo'lsa, aksincha, suyuqlikning quvur devoriga yaqin qavatlari tashqaridan issiqlik olib, uning qovushqoqligi kamayadi.

Natijada devor yonida tezlik gradiyenti ortadi. Shunday qilib, suyuqlik tashqi muhit bilan issiqlik almashgan hollarda uning qovushqoqligi quvur kesimi bo'yicha o'zgaruvchan bo'lib, tezlik taqsimoti ham o'zgarmas temperaturadagidan boshqacha bo'ladi. Xususan, qizdirishli oqim vaqtida yadroga tezlik ortib, tezlik taqsimoti chizig'i cho'ziqroq bo'ladi, aksincha, sovutishli oqimlar holida esa bu chiziq qisqaradi.

Laminar harakat issiqlik berish (sovutish) bilan amalg'a oshirilsa, temperatura o'zgaragan holga qaraganda qarshilik ortadi, issiqlik kelishi (qizdirish) bilan amalg'a oshsa, qarshilik kamayadi. Bu yuqorida aytilganidek, quvur devori atrofiga qovushqoqlik o'rtaqcha qovushqoqlikka qaraganda kam bo'lishi natijasida yuz beradi. Bu holda ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti uchun, amaliy hisoblashlarda, taqribiy formulalardan foydalaniladi:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \sqrt{\frac{v_s}{v_c}}$$

bu yerda Re — o'rtaqcha qovushqoqlik uchun hisoblangan Reynolds soni v_s — quvur devori yonidagi suyuqlikning qovushqoqligi, v_c — suyuqlikning o'rtaqcha qovushqoqligi. Aniqroq hisoblashlar uchun akad. M.A. Mixeyevning kichik Reynolds sonlari bilan hisoblashga chiqargan formulasidan foydalanish mumkin.

Ikki sirt orasidagi tor tirqishda suyuqlik harakat qilayotgan vaqtda qattiq jism va suyuqlik chegarasida molekulalararo o'zaro ta'sir kuchi natijasida, qutblangan suyuqlik molekulalarining adsorbsiyalanish hodisasi vujudga keladi. Natijada devorlar sirtida, siljituvchi kuchga qarshi ma'lum qattqlik va mustahkamlik xususiyatiga ega bo'lgan, harakatsiz suyuqlik qavati hosil bo'ladi. Bu esa tirqish harakat kesimining kichrayishiga sabab bo'ladi. Tirqishning bunday kichrayish hodisasi obliterationiya deyiladi.

Obliterationiya qavati cheklangan bo'lib, tirqish devoridan uzoqlashgan sari uning mustahkamligi kamayib boradi, molekulalar orasidagi bog'lanish kamayib, suyuqlik zarrachalari qavat sirtidan ajraladi va harakatga keladi.

Obliterationiya intensivligi suyuqlikning turiga, tirqishdagi bosimning kamayib borishiga va boshqa sabablarga bog'liq. Bosim kamayishi ortsa, bu hodisa kuchayadi. Molekular tarkibi murakkab bo'lgan moylarda obliterationiya hodisasi kuchliroq bo'ladi. Bunday moylarga gidrouzatlarda ishlatiladigan neft moylari kiradi. Obliterationiya qavati juda yupqa (odatda, bir necha mikrondan oshmaydi) bo'lishiga qaramay, juda tor (kapillyar) tirqishlarda uning ko'ndalang kesimining uchagina qismini egallab oladi. Natijada tirqishning qarshiligi ortadi va tirqishdagi suyuqlikning sarfi kamayadi.

Bu hodisa suyuqlikning ifloslanganligiga ham bog'liq bo'lib, uni ifloslovchi modda zarrachalari tirqish o'lchamlariga yaqin bo'lsa, obliteratsiya tezroq bo'ladi. Lekin suyuqlikning ifloslanganligi obliteratsiya hodisasida asosiy faktor bo'la olmaydi. Masalan, juda yaxshi tozalangan distillangan suv va benzinda obliteratsiya bo'lmaydi, ammo juda yaxshi tozalangan AMG-10 moyi 10 mikroali tirqishdan qisqa vaqt oqishi bilan tirqish butunlay bekilib qoladi.

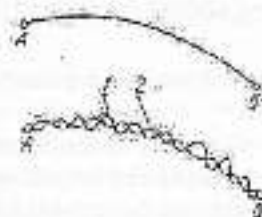
Odatda, juda kichik tirqishlarda (o'lchami 6-8 mk) obliteratsiya hodisasi tirqishni butunlay berkitib qo'yishi mumkin.

V bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Laminar harakat ta'rifini keltiring.
2. Laminar harakatdagi gidravlik qarshiliklar.
3. Reynolds tajribalari.
4. Laminar oqimning maxsus turlari.
5. Oqimning boshlang'ich bo'lagi.

VI BOB. SUYUQLIKLARNING TURBULENT HARAKATI

Suyuqliklarning turbulent harakati tabiatda va texnikada keng tarqalgan bo'lib, gidravlik hodisalar ichida eng murakkablari qatoriga kiradi. Bu harakat juda ko'p tekshirilgan bo'lishiga qaramay hozirgacha harakatning turbulent turi uchun umumlashgan nazariya yaratilgan emas. Shuning uchun ham turbulent oqimlarini hisoblashda yarimempirik nazariyalardan foydalanish bilan bir qatorda, ko'p hollarda tajriba natijalari va empirik formulalardan foydalanishga to'g'ri keladi.



6.1-rasm. Turbulent harakatning xususiyati

6.1. Suyuqlik turbulent harakatining xususiyatlari

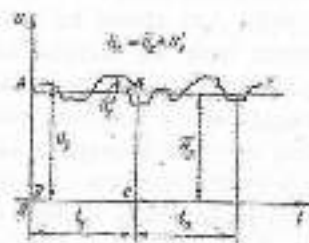
Turbulent harakatda suyuqlikning har bir zarrachasi juda ham murakkab egri chiziqli trayektoriya bo'yicha harakat qiladi va har qanday ikki zarrachaning trayektoriyalari bir-biriga o'xshamaydi. Buni ko'z oldimizga keltirish uchun biror *A* nuqtadan ketma-ket o'tayotgan zarrachalarning *B* nuqtaga (6.1-rasm) qanday trayektoriya bo'yicha yetib kelishini ko'z oldimizga keltiraylik. Laminar harakat vaqtida *A* nuqtadan chiqqan *I* zarracha biror silliq egri chiziqli bo'yicha *B* nuqtaga kelsa, *II* zarracha ham, *III* zarracha ham va ulardan keyin keladigan barcha zarrachalar ham huddi shu egri chiziqli bo'yicha harakat qiladi.

Turbulent harakat vaqtida esa *A* nuqtadan chiqqan birinchi zarracha murakkab egri-bugri chiziqli bo'yicha *B* nuqtaga keladi. Ikkinchi zarracha esa birinchi zarrachaning trayektoriyasidan tamomila boshqacha bo'lgan ikkinchi egri-bugri chiziqli bo'yicha keladi. Shunda ham u birinchi zarracha kelgan *B* nuqtaning aniq o'ziga kelmay, uning atrofidagi biror boshqa nuqtaga kelishi mumkin. Uchinchi zarracha esa birinchi zarrachaning ham, ikkinchi zarrachaning ham trayektoriyasiga o'xshamagan uchinchi egri-bugri chiziqli bo'yicha kelib, avvalgi zarrachalar kelgan nuqtaning

birortasiga ham kelmay, B nuqta atrofidagi hoshqa bir nuqtaga keladi. Bu hodisa A nuqtadan o'tayotgan barcha zarrachalarga tegishlidir. Shunday qilib, turbulent harakat qilayotgan suyuqlik zarrachalarning harakatini bitta formula bilan ifodalash g'oyatda mushkul ishdur. Lekin hamma zarrachalar bir tarafga A nuqtadan B nuqta tarafiga harakat qiladi. Shunga asosan bu qarashda betartib harakat qilayotgandek ko'ringan zarrachalar harakatida qandaydir umumiylikni aniqlash mumkin. Hatto bu umumiylikni faqatgina sifat o'xshashligi ko'rinishda emas, balki miqdor o'xshashligi ko'rinishida ham ifodalash mumkin. Ana shu o'xshashliklar asosida turbulent harakatning qonuniyatlarini yuzaga keltirib chiqariladi.

6.2. Tezlik va bosim pulsatsiyalari

Turbulent harakat qilayotgan suyuqlik biror nuqtadagi tezligining koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarini tekshiramiz. Misol uchun tezlikning oqim yo'nalishidagi proyeksiyasi u_x bo'lsin. U holda u_x ning miqdori vaqt davomida ortib va kamayib boradi. Bu o'zgarishni grafik ko'rinishda ifodalasak, u 6.2-rasmda tasvirlangan grafikka o'xshaydi va tezlik u_x proyeksiyasining pulsatsiyasi deb ataladi. Tezlikning boshqa o'qlaridagi proyeksiyalari (u_y, u_z) uchun ham xuddi shunday pulsatsiya grafiklari tuzish mumkin. Shunday qilib, tezlik pulsatsiyasi uning biror yo'nalishdagi proyeksiyasining vaqt davomida ortib va kamayib borish hodisasidan iborat. Uni tajribada tezlikni o'lchovchi asboblari yordamida (masalan, Pito trubkasidagi suyuqlik sathining o'zgarishini) kuzatish mumkin. Oqayotgan suvda suv o'tlari novdalarining to'xtovsiz tebranma harakat qilishi ham bizga pulsatsiya



6.2-rasm. Tezlik pulsatsiyasiga doir chizma.

sathasini ko'rsatadi. Tezlikning oniy miqdori doimo o'zgarib turgani uchun gidrodinamikada tenglashtirilgan tezlik tushunchasi kiritiladi va u ancha uzoq vaqt ichida tezlik qabul qilgan qiymatlarning o'rtachasi bo'ladi.

Tenglashtirilgan tezlik tushunchasini ko'z oldimizga keltirish uchun 6.2-rasmdan foydalanamiz. Grafikda tezlikning o'zgarishni to'liq xarakterlash uchun yetarli bo'lgan t_1 vaqt intervalini olamiz va grafikda vaqt o'qiga parallel qilib, shunday AB chiziq o'tkazamizki, hosil bo'lagi $ABCD$ to'rtburchakning yuzi ω_{ABCD} pulsatsiya grafigining t_1 oraliqdagi bo'lagi bilan DC chizig'i orasidagi yuza ω_{ABCD} ga teng bo'lsin. U holda $ABCD$ to'rtburchakning balandligi tenglashtirilgan tezlikka teng bo'ladi va $\bar{u}$ bilan belgilanadi.

Yuqorida aytib o'tilganlar turbulent harakatining bequror harakat shaklligini ko'rsatadi. Agar biz pulsatsiya grafigida t_1 interval davomida yetarli darajada uzun t_2 interval olsak va bu interval tenglashtirilgan tezlikni topsak t_2 davomida avvalgidek uchinchi interval olib, yana tenglashtirilgan tezlikni topsak va bu ishini davom ettirib borsakda, barcha intervallar uchun olingan tenglashtirilgan tezliklar teng bo'lsa, bunday harakat turbulent harakat uchun barqaror harakat bo'ladi.

Oqayotgan suyuqlikda biror elementar yuza $d\omega$ olib, shu yuzadan vaqt ichida oqib o'tgan suyuqlikning hajmi $d\mathcal{Q}$ ni aniqlasak, barqaror harakat vaqtidagi tenglashtirilgan tezlik quyidagicha aniqlanadi.

$$\bar{u} = \frac{d\mathcal{Q}}{d\omega dt} \quad (6.1)$$

6.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, tenglashtirilgan o'rtacha tezlik oniy tezlikdan farq qilib, bu farqni hisoblaganda quyidagicha ifodalanadi.

$$u_x = \bar{u}_x + u'_x \quad (6.2)$$

Oniy va tenglashtirilgan tezliklar orasidagi farqlar manfiy yoki musbat bo'lishi mumkin va tezlik pulsatsiyasi deb ataladi. Ko'rinib turibdiki, tezlik pulsatsiyalarining yetarli katta t_1 intervaldagi yig'indisi yoki integrali nolga teng bo'lar ekan.

$$\sum u'_x \Delta t = 0 \text{ yoki } \int u'_x dt = 0$$

Endi suyuqlikning oqimiga ko'ndalang yo'nalishdagi tezliklarni tekshirsak, bu tezliklar bilan oqimning bir tomoniga qancha suyuqlik harakat qilsa, ikkinchi tomoniga ham shuncha suyuqlik harakat qiladi. Natijada suyuqlikning tenglashtirilgan tezlikning yo'nalishi doimo oqim yo'nalishiga mos kelar ekan. Shuning uchun turbulent harakat uchun Bernuli tenglamasini yozar ekanmiz, bu tenglamadagi o'rtacha tezlik tenglashtirilgan tezlikning o'rtacha qiymatini bildiradi. Tezlik miqdori

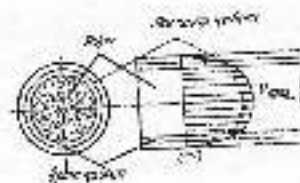
doimo o'zgarib turgani sababli bosim ham o'zgarib turadi yoki boshqacha aytganda bosim ham pulsatsiyaga ega bo'ladi. Xuddi tezlikka o'xshab, bosim p uchun ham tenglashtirilgan bosim tushunchasini kiritish mumkin.

6.3. Tenglashtirilgan tengsizliklarning kesim bo'yicha taqsimlanishi

O. Reynolds (1895) va J. Bussenesk (1897) turbulent oqimni zarrachalarining tezliklari va bosimlari tenglashtirilgan tezliklar va bosimlar bilan almashtirilgan shartli oqim bilan almashtirishni taklif qiladilar. Bunday shartli oqim *tenglashtirilgan oqim* yoki turbulent oqimning *Reynolds modeli* deb ataladi. Tabiiyki, bunday oqimni tekshirishda tezlik pulsatsiyalarini hisobga olmaymiz. Beqaror harakat vaqtida Reynolds modeliga ko'ra $\bar{u}$ lar vaqt bo'yicha o'zgarib boradi, barqaror harakat vaqtida esa ular vaqtga bog'liq emas. Shunday qilib, tekshirilayotgan turbulent oqim uchun Reynolds modeli bo'yicha hisoblash ishlarida $\bar{u}$ va $\bar{p}$ lardan foydalanamiz. Turbulent oqimiga Bernulli tenglamasini qo'llaganimizda tezlik va bosimlar deganda tenglashtirilgan tezlik va bosimlarni tushunamiz, yozuvda esa soddalashtirish uchun chiziqlarni tushirib qoldiramiz. I. Prandtlning va boshqa olimlarning tekshirishlari shuni ko'rsatdiki, turbulent harakat vaqtida oqimning asosiy qismi uning yadrosi, ya'ni markaziy qismini tashkil qiladi. Yadroda suyuqlik turbulent harakat qilib, uning tezliklari yadro kesimi bo'yicha deyarli bir xil bo'ladi va markazdan quvur devoriga yaqinlashgan sari bir oz kamayib boradi. Devor yonidagi suyuqlik zarrachalari esa (devorning mavjudligi oqimga ko'ndalang harakatga yo'l qo'ymagani uchun) devor bo'yicha harakat qilib, uning trayektoriyasi sezilarli tebranishga ega bo'ladi. Shuning uchun devor yonidagi zarrachalar laminar harakat qiladi. Ana shu laminar harakat qilayotgan zarrachalar yupqa qavat ichida bo'lib, uni laminar qavat deb ataladi. Laminar qavat bilan yadro o'rtasida yana bir yupqa qavat bo'lib, uni o'rta qavat deb ataladi. Bu qavatda suyuqlik turbulent harakat qiladi.

Juda katta aniqlik va e'tibor bilan o'tkazilgan tajribalar laminar qavatning qalinligini aniqlashga imkon beradi. Uning qalinligi millimetrlarning bo'laklariga teng bo'lib, Reynolds soniga bog'liq va uning o'rinishi bilan laminar qavatning qalinligi kamayadi. Shunday qilib, turbulent harakatdagi tenglashtirilgan tezlikning taqsimlanishi (6.3-rasm), laminar harakatdagi tezlikning taqsimlanishidan tamomila farq qiladi va u yadroda deyarli o'zgarmagan holda quvur devori yaqinida juda tez kamayadi va devor ustida nolga teng bo'lib qoladi, ya'ni tenglashtirilgan tezlik asosan

laminar va o'rtacha qavatlarda o'zgaradi. Buni ko'z oldimizga keltirish uchun 6.3-rasmida silindrik quvurda turbulent oqim uchun (tulash chiziq) va laminar oqim uchun (punktir chiziq) tezlik chizig'i keltirilgan. Hozirgi zamon gidravlikasida tezlikning kesim bo'yicha taqsimlanish qonuni nazariya va tajribalar natijasida quyidagicha ifodalanadi:



6.3-rasm. Turbulent harakatda laminar qavat va yadro.

$$u = u_{\max} \left(\frac{R-r}{R} \right)^{1/4} \quad (6.3)$$

$$u = \sqrt{\frac{r}{\rho}}$$

bu yerda u_0 - quvur devoridagi urinish zo'riqlish; γ - tajribadan aniqlangan koeffitsiyent bo'lib, u 0,4 ga teng; R - quvurning radiusi; r - quvurning o'qidan boshlab hisoblangan masofa. (6.3) tenglamadagi u^* ning o'lchov birligi tezlik o'lchov birligi bilan bir xil bo'lib, u odatda dinamik tezlik deyiladi.

Silliqli quvurlar uchun tezlik formulasi ushbu ko'rinishda yoziladi.

$$u = u_0 \left(5,75 \lg \frac{R}{\Delta} + 5,5 \right) \quad (6.4)$$

G'adir-budir quvurlar uchun esa

$$u = u_0 \left(5,85 \lg \frac{R}{\Delta} + 8,5 \right) \quad (6.5)$$

Bu formulada Δ quvur devorining g'adir-budirligini xarakterlovchi miqdor bo'lib, u "absolyut g'adir-budirlilik" deyiladi.



6.4-rasm. Turbulent va laminar harakatda tezlik epyuralari.

Amalda tezlik taqsimlanishini darajali qonunlar bilan ifodalovchi formulalari qulaydir.

Karman nazariy tekshirishlar natijasida silliq quvurlar uchun bu qonunni quyidagi ko'rinishda yozishni taklif qilgan.

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (6.6)$$

bu yerda n - tajribada aniqlanadigan koeffitsiyent bo'lib, u Re soniga bog'liqdir. Xuddi laminar oqimdagi kabi turbulent oqimida ham tezlikning yuqoridagi tenglatmalar bilan ifodalangan qonun bo'yicha taqsimlanishi quvurning boshlang'ich kesimidan ma'lum masofada vujudga keladi. Bu masofa turbulent harakatning boshlang'ich bo'lagi deb ataladi va ushbu formula bilan hisoblanadi:

$$L_{\text{vtr}} = 0,639 Re^{0,25} D \quad (6.7)$$

Turbulent oqimida o'rtacha tezlikning maksimal tezlikka nisbati 0,75 ga teng, ya'ni

$$\frac{V}{u_{\max}} = 0,75$$

Laminar oqimda esa bu nisbat 0,5 ga teng edi. Reynolds soni ortib borgan sari turbulent qorishuv tezlashib boradi va o'rtacha tezlik bilan maksimal tezlikning nisbati 1 ga intiladi.

6.4. Turbulent harakatda urinma zo'riqish

Turbulent harakatning Reynolds modelida biz pulsatsiyalarni hisobga olmagan holda tenglashtirilgan oqim olamiz. Lekin tenglashtirilgan tezlik bo'yicha hisoblangan oqimning energiyasi oniy tezlik bo'yicha hisoblangan oqimning energiyasidan kam bo'ladi. Buni quyidagicha ko'rsatish mumkin. Oniy va tenglashtirilgan tezliklar kvadratini tekshiramiz.

$$u_c^2 = (\bar{u}_c + u'_c)^2$$

U holda oniy tezlik kvadratining o'rtacha qiymati quyidagicha hisoblanadi.

$$\bar{u}_c^2 = \bar{u}_c^2 + 2\bar{u}_c \bar{u}'_c + \bar{u'^2_c}$$

Tezlik pulsatsiyasining o'rtacha qiymati nolga tengligidan o'ng tomondagi ikkinchi had nolga teng. Tezlik pulsatsiyasi vaqt o'tqi bo'yicha musbat va manfiy qiymatlar qabul qilgani bilan uning kvadrati doimo musbat. Bularga asosan

$$\bar{u}_c^2 = \bar{u}_c^2 + \bar{u'^2_c}$$

Bu tenglikdan ko'rinadiki, keltirilgan kinetik energiya uchun quyidagi tengsizlik mavjud:

$$\frac{u_c^2}{2g} > \frac{u'^2_c}{2g}$$

Bu qo'shimcha energiya turbulent harakat qilayotgan suyuqlik zarralarning oqimdagi bir qavatdan ikkinchi qavatga tartibsiz o'tib turishi uchun sarflanadi. Shunday qilib, qavatlar orasida energiya almashinuvi natijasida tezlik pulsatsiyalari ma'lum miqdorda ish bajaradi. Bu bajarilgan ish suyuqlik qavatlar orasida qo'shimcha urinma zo'riqish sifatida namoyon bo'ladi. Hosil bo'lgan qo'shimcha urinma zo'riqish turbulent urinma zo'riqish deyiladi. Bu zo'riqish Bussensk formulasida Nyuton qonuniga o'xshash qabul qilingan bo'lib, ushbu ko'rinishda ifodalanadi:

$$\tau_r = \mu_r \frac{du}{dn} \quad (6.8)$$

bu yerda μ_r - turbulent dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti yoki turbulent almashuv koeffitsiyenti deb ataladi. L.Prandtl koeffitsiyentini tezlik gradiyentiga proporsional deb qabul qilingan bo'lib, u shunday ifodalanadi:

$$\mu_r = \rho l \frac{du}{dn} \quad (6.9)$$

bu yerda l ni aralashuv yo'l uzunligi deb ataladi. Turli mualliflar bu qiymatning fizik mazmunini turlicha izohlaydilar. Odatda, u shunday aniqlanadi:

$$l = \chi y, \quad (6.10)$$

bu yerda y - harakatlanayotgan zarrachaning idish devoridan boshlab hisoblangan koordinatasi; χ - Prandtl universal doimiysi. Nikuradze tajribalarida aniqlanishicha silindrik quvur uchun $\chi \approx 0,4$. (177) dan ko'rinib turibdiki, dinamik qovushqoqlik turbulent koeffitsiyenti μ_r tezlik gradiyentiga proporsional bo'lib, molekulyar qovushqoqlik koeffitsienti μ dan harakatning xususiyatiga bog'liqligi bilan farq qiladi. Bu koeffitsiyentdan, (1.13) ni qiyos qilib, turbulent kinematik qovushqoqlik koeffitsiyentini yozamiz:

$$\nu_r = \frac{\mu_r}{\rho} = l^2 \frac{du}{dn} \quad (6.11)$$

Yuqorida keltirilganlarni hisobga olib, turbulent harakat uchun urinma zo'riqishni quyidagicha yoziladi.

$$\tau = \tau_r + \tau_t = \mu \frac{du}{dn} + \mu_r \frac{du}{dn} = \mu \frac{du}{dn} + \rho l^2 \left(\frac{du}{dn} \right)^2 \quad (6.12)$$

Laminar harakat vaqtida bu yig'indining ikkinchi hadi nolga teng bo'lib, faqat laminar qovushqoqlik urinma zo'riqishi τ_t qoladi. Reynolds sonining katta qiymatlarida turbulent harakat uchun τ_t , τ_r ga qaraganda juda katta

bo'lib, (6.12) dagi yig'indining birinchi hadini tashlab yuborish mumkin (ya'ni $\tau = \tau_1$). Bu holda τ tezlik gradiyentining ikkinchi darajasiga proporsional bo'ladi. Silindrik quvurda tekis harakat qilayotgan suyuqlikning turbulent tartibi uchun (5.1) dagidek muvozanat tenglamasidan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$\pi r^2 (p_1 - p_2) = 2\pi r l \tau. \quad (6.13)$$

Reynolds sonining katta qiymatlarida $\tau_0 \gg \tau_1$ ekanligini hisobga olib, (6.13) da laminar urinma zo'riqishini kichik miqdor sifatida tashlab yuboramiz. Natijada (6.12) dan foydalanib, ushbu tenglamani chiqaramiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{2l} = \frac{\tau_1}{r}. \quad (6.14)$$

Lekin turbulent urinma zo'riqish uchun (6.8) formuladan foydalanib, quyidagi munosabatni yozamiz.

$$\sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = 2r \frac{du}{dr}. \quad (6.15)$$

Biroq quvur devori yaqinda o'zgaruvchan urinma zo'riqish (τ) ni o'zgaruvchan urinma zo'riqish τ_0 ko'rinishida ifodalash mumkinligini hisobga olib, (6.15) dan ushbu tenglikni keltirib chiqaramiz:

$$du = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \frac{dr}{r}. \quad (6.16)$$

Tekis harakat uchun pezonetrik qiyalik $l = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$ ekanligini hisobga olsak, (6.14) va (6.16) dan

$$\tau_0 = \rho R \frac{l}{2} \quad (6.17)$$

ekanligiga ishonch hosil qilamiz. $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ ni u bilan belgilaymiz va (6.14) ning chap tomonini u_{max} dan u gacha, o'ng tomonini $R-r$ dan r gacha integrallab, tezlik uchun quyidagi tenglamani olamiz:

$$u - u_{max} = \frac{u_{max}}{\lambda} \lg \frac{r}{R-r},$$

bu tenglik avvalgi paragrafda keltirilgan turbulent tartibli harakat tenglamasi (6.3) ga osonlikcha keltiriladi.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

Masala. Moy (IC-30) nasos yordamida quvur orqali gidrosilindrga uzatiladi. Agar quvur diametri $d = 24$ mm, moyning harorati $t = 20^\circ\text{C}$

bo'lib, nasosning sarfi $Q = 20$ m³/s bo'lganda suyuqlikning harakat rejimini va qaysi haroratda turbulent rejimga o'tishini aniqlang.

Yechimi: Suyuqlikning harakat rejimi Reynolds soni orqali ifodalunadi; Damli (naporli) harakatda Reynolds soni (4.1) formula orqali aniqlanadi:

Agar Reynolds soni qandaydir kritik Reynolds sonidan yuqori bo'lsa ($Re > Re_{kr}$), harakat rejimi turbulent deyiladi, agar Reynolds soni kritik Reynolds sonidan kichik bo'lsa ($Re < Re_{kr}$) harakat rejimi laminar deyiladi.

Aylana shaklidagi damli quvurlar uchun kritik Reynolds soni $Re_{kr} = 2000 \div 3000$ va damsiz oqimlar harakati uchun $Re_{kr} = 300 \div 580$ gacha qabul qilingan.

Demak, qo'yilgan masalani yechish uchun Reynolds sonini aniqlash kerak.

Quvurdagi oqim tezligi

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 20}{3.14 \cdot 24^2} = 4.42 \text{ sm/s}$$

$t = 20^\circ\text{C}$ da moyning (IS-30) kinematik yupishqoqlik koeffitsiyenti $\nu = 150$ mm²/s = 1,5 sm²/s

Reynolds soni:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{4.42 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{1.5} = 700;$$

$$Re_{kr} = 2000;$$

$Re < Re_{kr}$ demak suyuqlik harakat rejimi laminar.

Laminar harakatdan turbulent harakatga o'tish uchun $Re > Re_{kr}$.

$Re_{kr} = 2000$, u holda:

$$Re_{kr} = \frac{v \cdot d}{\nu}; \quad \nu = 0.53 \text{ sm}^2/\text{s} = 53 \text{ mm}^2/\text{s}.$$

ν va ν' ning bog'liqlik jadvalidan industrial moy uchun (IS-30) $\nu = 53$ mm²/s ga mos keladigan t° harorat miqdori $t = 50^\circ\text{C}$.

Demak, suyuqlik harorati yuqoridagi miqdorga yetganda suyuqlik laminar harakat rejimidan turbulent harakat rejimiga o'ta boshlaydi.

Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Uzunligi $l = 4$ m bo'lgan quvurdan harorati 10°C ($\nu = 0.4$ sm²/s) bo'lgan neft oqib o'tmoqda. Kesimlar orasidagi bosimlar farqi $\Delta P = 5$ mPa va neft sarfi $Q = 0.5$ l/s bo'lganda suyuqlikning harakat rejimini aniqlang.

2. Diametri $d = 50$ mm li quvur orqali sarti $Q = 0,5$ l/s bo'lgan bosim yo'qolib kelmoqda. Agar benzol harorati 6°C dan 40°C gacha o'zgarsa suyuqlik harakat rejimi qanday o'zgaradi?

3. $d = 100$ mm bo'lgan quvurda suyuqlik laminar rejimda harakat qilmoqda. Agar quvur o'qidagi tezlik $u_{\text{max}} = 20$ sm/s bo'lsa, tezlik taqsimotining grafigini chizing.

4. Laboratoriyada diametri $d = 25$ mm bo'lgan quvurda tajribalar o'tkazib quyidagi qiymatlar o'lchandi: a) suvning harorati $t = 10^{\circ}\text{C}$, tezligi $V = 20$ sm/s; b) benzin harorati 20°C , tezligi $V = 25$ sm/s; v) neft harorati 18°C , tezligi $V = 18$ sm/s. Suyuqliklarning harakat rejimlarini va sarflanishni aniqlang.

5. Yuqoridagi tajribalarning kesitmi to'g'ri to'rtburchak shaklidagi ($a = 8$ sm, $b = 4$ sm) quvurda o'tkazilsa, suyuqliklarning harakat rejimlari qanday o'zgaradi?

6.5. Quvurlarda naporning (bosimning) kamayishi (yo'qolishi)

Real suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasida keltirilgan naporning yo'qolishini (bosimning pasayishi) h_{1-2} ni hisoblash quvurlar va quvurlar sistemasini hisoblashda asosiy masala hisoblandi.

Naporning yo'qolishini (Bosimning pasayishi) (h_{1-2}) ni hisoblashning muhimligi shundaki, bu ish suyuqlik quvurlarda harakatlanganda quvurdagi qarshiliklarni yengish uchun sarf bo'lgan energiyani hisoblashga va shu hisobga asoslanib loyihalashtirilgan quvur (yoki quvurlar sistemasida) suyuqlikni uzatish uchun qancha energiya kerak ekanligini aniqlashga imkon beradi. Quvurlarda bosimning kamayishi ishqalanish qarshiligi va mahalliy qarshilikka bog'liq.

Ishqalanish qarshiligi real suyuqliklar ichki qarshiligiga bog'liq bo'lib, quvurlarning hammasi uzunligi bo'yicha ta'sir qiladi. Uning miqdoriga suyuqlik oqimining tartibi (laminarlik, turbulentlik, turbulentlik darajasi) ta'sir qiladi. Yuqorida aytilgandek, turbulent tartib vaqtida odatdagi qovushqoqlikka qo'shimcha ravishda, turbulent qovushqoqlikka bog'liq bo'lgan va suyuqlik harakati uchun qo'shimcha energiya talab qiladigan kuch paydo bo'ladi.

Mahalliy qarshilik tezlikning suyuqlik harakat qilayotgan quvurning shakli o'zgarishiga bog'liq bo'lgan har qanday o'zgarishi vaqtida paydo bo'ladi. Bularga bir quvurdan (yoki idishdan) ikkinchi quvurga o'tish joyi, quvurlarning kengayishi yoki birdan kengayib birdan torayishi, tirsaklar, oqim yo'nalishini o'zgartiruvchi qurilmalar (kran, ventil, va h.k.) kiradi.

hisoblay qilib yo'qolgan hosim (3.57) formula bo'yicha ikki yig'indidan hosil topgan bo'ladi:

$$H_n = H_i + H_m \quad (6.18)$$

Bu yerda H_i - ishqalanish qarshiligi yoki uzunlik bo'yicha napor yo'qotish, H_m - mahalliy qarshilikda yo'qotilgan napor. Laminar tartib vaqtida ishqalanish qarshiligi yuqorida keltirilgan (5.9) va (5.12) formulalardagi kabi nazariy usul bilan aniqlanishi mumkin:

$$H_i = \frac{32\mu l}{D^3} Q = \lambda \frac{l}{D} \frac{Q^2}{2g}$$

Bu ifodadagi $\lambda = \frac{64}{Re}$ ni ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti deb atagan edik. Ko'pincha uni soddaroq qilib gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti deyiladi. Silindrik quvurlarda bu formula Reynolds soni 2320 dan kichik bo'lgan laminar harakatlar uchun tajribada olingan natijalarda juda yaqin keladi. Turbulent harakat uchun ishqalanish qarshiligi tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Uni nazariy aniqlab bo'lmaydi.

6.6. Darsi formulasi va gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti (Darsi koeffitsiyenti)

Turbulent harakat ustida olib borilgan tajribalar ishqalanish qarshiligining solishtirma energiyaga proporsional ekanligini ko'rsatadi, ya'ni

$$H_i = \zeta \frac{Q^2}{2g} \quad (6.19)$$

Bu formuladagi proporsionallik koeffitsiyenti bir qancha miqdorlarga bog'liq bo'lib, uni tekshirish uchun quyidagi xulosadan foydalanamiz.

Juda ko'p tajribalar yuqorida keltirilgan $\frac{H_i}{Q^2}$ miqdorning tezlik bosimi yoki solishtirma kinetik energiya orqali quyidagicha ifodalanishini ko'rsatadi:

$$\frac{H_i}{Q^2} = \frac{\lambda}{4} \frac{g^2}{2g}$$

U tenglikni (6.17) munosabat bilan taqqoslab ko'rsak:

$$Rd = \frac{\lambda}{4} \frac{g^2}{2g}$$

ekanligiga ishonch hosil qilamiz. Bu yerda $\lambda = \frac{L}{l}$ ekanligini hisobga olib tekis barqaror harakat uchun uzunlik bo'yicha ishqalanishga yo'qotilgan bosimni pasayishi uchun formula olamiz

$$H_r = \lambda \frac{l}{4R} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (6.20)$$

bu yerda l - quvurning uzunligi; R - gidravlik radius. Silindrik quvur uchun $D = 4R$ ekanligini hisobga olsak, oxirgi formula quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$H_r = \lambda \frac{l}{D} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (6.21)$$

(6.21) formula *Darsi - Veysbax formulasi* yoki qisqacha *Darsi formulasi* deyiladi. Bu formulaga kiruvchi koeffitsiyent λ gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti yoki *Darsi koeffitsiyenti* deyiladi.

Bundan ko'rinadiki, (6.19) dagi koeffitsient *Darsi koeffitsiyenti*ga bog'liq bo'lib, ya'ni

$$\zeta = \frac{l}{D} \lambda, \quad (6.22)$$

u quvurning uzunligiga to'g'ri proporsional, diametriga teskari proporsional ekan. Suyuqlikning quvurdagi laminar harakati uchun yuqorida nazariy formula (5.11) olingan edi. Turbulent harakat vaqtida esa bunday munosabatni nazariy usul bilan chiqarib bo'lmagani uchun, uni empirik yoki yarim empirik usullarda aniqlanadi.

Hozirgi zamon gidravlikasida *Darsi koeffitsiyenti* λ umumiy Holda Reynolds soniga va quvur devorlarining g'adir-budirligiga bog'liq deb hisoblanadi. λ ni hisoblash uchun juda ko'p empirik formulalar mavjud bo'lib, ular ichida eng mashhurlari quyidagilar.

Blazius formulasi 1913 yili juda ko'p mualliflarning tajribalarini analiz qilish natijasida olingan.

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (6.23)$$

Bu formula Reynolds soni $Re < 10^5$ bo'lganda tajribalarga yaxshi mos keladi. Reynolds sonining kattaroq diapazonlari (Re ning $3 \cdot 10^6$ gacha miqdorlari) uchun P.K.Konakov formulasidan foydalanish mumkin.

$$\lambda = \frac{1}{(1.81 + \lg Re - 1.5)^2} \quad (6.24)$$

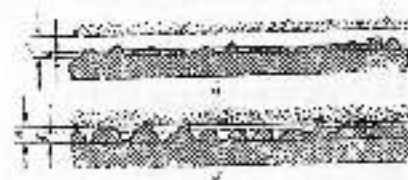
1932 yili L. Prandtl quyidagi formulani keltirib chiqardi:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(Re \sqrt{\lambda}) - 0.81 \quad (6.25)$$

Quyidagi formulalar silliq quvurlar uchun chiqarilgan bo'lib, g'adir-budir quvurlar uchun ulardan foydalanib bo'lmaydi.

6.7. Quvur devorining g'adir-budirligi. Absolyut va nisbiy g'adir-budirlilik

Quvurlar, kanallar va novlarning devorlari ma'lum darajada g'adir-budirlikka ega bo'ladi. Bu g'adir-budirlilik quvurlarning qanday materialdan tayyorlangani va qay darajada silliqlanganiga qarab ularning devor sirtidagi tashqi kattalikdagi yoki juda ham kichik pastlik-do'ngliklar bilan xarakterlanadi. G'adir-budirlilikni xarakterlash uchun quvur sirtidagi do'ngliklarning o'rtacha balandligi qabul qilinib, u absolyut g'adir-budirlilik deyiladi va Δ bilan belgilanadi (6.5-rasm). Agar absolyut g'adir-budirlilik laminar chegaraviy qavatning qalinligi δ dan kichik bo'lsa, bu quvur gidravlik silliq quvur deyiladi. (6.5-rasm, a).



6.5 rasm. Gidravlik silliq va g'adir-budir quvurlarni tashvirlashga doir chizma.

Birdiyu, Δ laminar qavat qalinligi δ dan katta bo'lsa, bu quvurlar gidravlik g'adir-budir quvurlar deyiladi (6.5-rasm, b).

Birinchii holda ($\Delta < \delta$) quvur sirtidagi do'ngliklar laminar qavat ichida qoladi va gidravlik qarshilikka sezilarli ta'sir qilmaydi. Ikkinchi holda ($\Delta > \delta$) esa do'ngliklar laminar qavatdan chiqib qoladi va quvur devori atrofidagi oqim xususiyatiga ta'sir qilib, gidravlik qarshilikni oshiradi.

Quvurlarning g'adir-budirligini aniqlash ancha murakkab ish bo'lib, uni hisoblash gidravlik qarshilikni hisoblashni qiyinlashtiradi. Shuning uchun hisoblash ishlarini osonlashtirish maqsadida ekvivalent g'adir-budirlilik Δ_e degan tushunchani kiritiladi. U quvurlarni gidravlik sinash yo'li bilan aniqlanib, gidravlik yo'qotishni hisoblashda absolyut g'adir-budirlilik uchun qanday qiymat olinsa, ekvivalent g'adir-budirlilik uchun ham shunday qiymat olinadigan qilib tanlab olinadi.

5.1-jadval. Quvurlar uchun absolyut g'adir-budirlik qiymatlari

Quvurlar	Δ , mm
Yangi metall va sopol quvurlar tekis joylangan va tutashirilgan holda	0,01-0,15
Yaxshi holatda ishlab turgan vodoprovod quvurlari va juda yaxshi holatdagi beton quvurlar	0,2-0,3
Ozroq ifloslangan vodoprovod quvurlari yaxshi holatdagi beton quvurlar	0,3-0,5
Ifloslangan va uzunq zanglagan vodoprovod quvurlar	0,5-2,0
Yangi cho'yan quvurlar	0,3-0,5
Ko'p foydalanilgan cho'yan quvurlar	1,0-3,0

Ma'lumki, laminar qavatning qalinligi Reynolds soniga bog'liq bo'lib, uning ortishi bilan kamayib boradi. Shuning uchun Reynolds sonining kichikroq qiymatlarida gidravlik silliq quvurlar uning ortishi bilan "g'adir-budir" quvur sifatida ko'riladi. Shuning uchun absolyut g'adir-budirlik quvur devorining oqim harakatiga ta'sirini to'liq ifodalay olmaydi. Shuningdek, quvur g'adir-budirlikni uning diametri katta yoki kichik bo'lishiga qarab, suyuqlik oqimiga turlicha ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Bularni hisobga olish maqsadida o'xshashlik qonunlarini bajaradigan va oqim gidravlikasiga g'adir-budirlikning ta'sirini to'laroq ifodalaydigan nisbiy g'adir-budirlik tushunchasi kiritiladi va u absolyut g'adir-budirlikning quvur diametriga nisbatiga teng deb olinadi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{D} \quad (6.26)$$

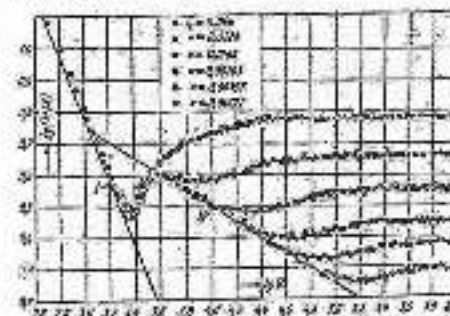
Nisbiy g'adir-budirlikdan foydalanish quvurlardagi ishqalanish qarshiligini hisoblashda ancha qulaylik tug'diradi.

6.8. Nikuradze va Murin graflari

Ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti λ ning Reynolds soniga bog'liqligini juda ko'p olimlar (Bazius, Prandtl, Karman, Konakov va boshqalar) tekshirib, empirik formulalar chiqardilar. Bu koeffitsiyentning xususiyatlari haqida eng to'liq ma'lumot olishga va uning g'adir-budirlikka bog'liqligini aniqlashga I. Nikuradze tajribalarining natijalari imkoniyat berdi. U 1933 y quvur devoriga qum zurrachalarini yelimlab yopishirib, sun'iy g'adir-budirlik hosil qildi va bu quvurlarda tezlikni o'zgartirish yo'li bilan Reynolds sonining turli qiymatlarida gidravlik yo'qotilishni aniqlashga

qaratib bo'ldi. So'ngra Darsi formulasidan foydalanib, ishqalanish koeffitsiyentini aniqladi. Nikuradze o'z tajribalarining natijasini maxsus grafik ko'rinishida ifodaladi. Bu grafikda koordinata o'qlari bo'yicha $\lg(Re)$ va $\lg\lambda$ miqdorlarini qo'yib keltirilgan turli nisbiy g'adir-budirliklar uchun tajriba natijalaridan 6.6-rasmda keltirilgan egri chiziqlarni oladi. Bu grafikdan ko'rinib turibdiki, λ va Re bog'lanishi uchta zona mavjud.

Birinchi zona laminar tartib zonasi bo'lib, tajriba nuqtalari (5.11) formula asosida chizilgan 1 to'g'ri chiziq ustiga tushadi va g'adir-budirlikning turli qiymatlari uchun barcha tajriba nuqtalari shu to'g'ri chiziqda yotadi. Bu natijada laminar zonada ishqalanish koeffitsiyenti g'adir-budirlikka bog'liq emasligi ko'rinadi. Bu zona uchun quyidagi formulalarni chiqarish mumkin:



6.6-rasm. Nikuradze grafi.

- Reynolds soni Re nisbatan kichik bo'lib, 1000 dan 2300 gacha o'zgaradi;
- bosimning pasayishi H , g'adir-budirlikka bog'liq emas;
- H , tezlikka to'g'ri proporsional bo'lib, Puazeyl formulasi tajribalarini yaxshi ifodalaydi;
- λ ni (5.11) formula bilan hisoblash mumkin.

Ikkinchi zona turbulent tartibga to'g'ri keladi va tajriba nuqtalari Blazius formulasi (6.23) bo'yicha chizilgan 2 to'g'ri chiziq ustiga tushadi va g'adir-budirlikka bog'liq emas.

Bu zonada turbulent tartib qat'iy bo'lmagan uchun uni noqat'iy yoki o'tkinchi zona deyiladi (ya'ni uning ichida turbulent tartib laminar tartibga va aksincha, laminar tartib turbulentga o'tish hodisasi yuz beradi).

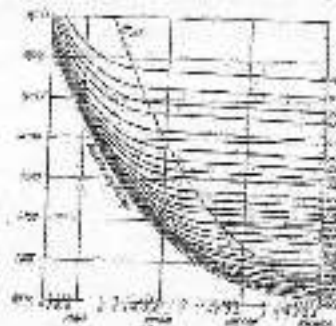
Bu zonada

- Reynolds soni 2300 dan taxminan 10000 gacha o'zgaradi;

- b) silyonliklar quvurda harakat qilganda ayrim qismlarda turbulent tartib paydo bo'ladi va rivojlanib borib, yo'q bo'ladi va yana paydo bo'ladi;
v) λ quvurning g'adir-budirligiga bog'liq emas.

Uchinchi zona – turbulent tartibga tegishli bo'lib, barqarorlashgan turbulentlik mavjud bo'ladi. Bu zonada ishqalanish ko'effitsiyenti Reynolds soni Re ga ham, g'adir-budirlilik λ ga ham bog'liqdir.

1938 y. A.P. Zegida Nikuradze tomonidan kashf qilingan qonuniyatlar kanallar uchun ham to'g'ri ekanligini ko'rsatadi. Ko'rinib turibdiki, Nikuradzening tajribalari sun'iy bir tekis g'adir-budirlikka ega bo'lgan quvurlar uchun o'tkazilgan. Shuning uchun ularning natijalari sanoatda va texnikada qo'llaniladigan tabiiy g'adir-budir quvurlar uchun to'g'ri, bu quvurlar uchun g'adir-budirlilikning qiymati qanday miqdorga teng ekanligi aniqlanmagan edi. Bu masalani hal qilishga Kolbruk, I.A. Isayev, G.A. Murin, F.A. Shevelevlarning ishlari bag'ishlangan edi. Bu ishlar ichida Murinning sanostdagi po'lat quvurlarning gidravlik qarshiligini aniqlash bo'yicha o'tkazgan tajribalari to'liq bo'lib, u 1948 yili yakunlandi. Murin tajribalarining natijasi 6.7-rasmida keltirilgan bo'lib, λ ning Reynolds soniga bog'liqligi turli g'adir-budirlikka ega bo'lgan, po'lat quvurlar uchun grafik ko'rinishida ifodalangan. Murin tajribalari tabiiy quvurlar uchun Nikuradze kashf qilgan qonuniyatlarni to'g'ri ekanligini tasdiqlash bilan bir qatorda, yangi qonuniyatni, ya'ni tabiiy g'adir-budir quvurlarda ishqalanish ko'effitsiyeti λ o'tkinchi zonada barqarorlashgan turbulentlik zonasiga qaraganda kattaroq qiymatga ega ekanligini ko'rsatdi (Nikuradze tajribalari buning aksini ko'rsatadi). Bundan xulosa shuki, sun'iy g'adir-budir quvurlarda λ Reynolds soni ortib borishi bilan ortib o'tkinchi zonada barqarorlashgan turbulentlik zonasiga qaraganda kam bo'lsa λ tabiiy g'adir-budir quvurlarda Re ning ortishi bilan kamayib boradi.



6.7-rasm. Murin grafiği.

6.9. Gidravlik silliq va g'adir-budir quvurlar

Dani va Puazeyl formulalarida gidravlik qarshilik tezlikning ikkinchi va birinchi darajalar bilan ifodalanganligidan uni umumiy holda quyidagi formula bilan ifodalash mumkin:

$$H_d = BV^m \quad (6.27)$$

Laminar harakat uchun chiziqli qarshilik qonuni o'rinli bo'lib, (6.27) da $m = 1$ bo'ladi, ya'ni $H_d = BV$.

Turbulent harakatda qarshilik qonuni butunlay boshqacha bo'lib, gidravlik silliq g'adir-budir quvurlar uchun turlichadir. Silliq quvurlar uchun $m = 1,75$ va $H_d = B_1 V^{1,75}$, g'adir-budir quvurlar uchun esa $m = 2$ va $H_d = B_2 V^2$ (gidravlik qarshilikning kvadratik qonuni deyiladi).

Bu qonunlarning qo'llanilishiga qarab Nikuradze grafigidagi uchinchi zona quyidagi sohalariga ajraladi.

Birinchi soha "gidravlik silliq quvurlar sohasi" bo'lib, bu sohada Reynolds soni 100000 dan kichik bo'lganda λ II to'g'ri chiziqli bilan ifodalanadi, $Re > 100000$ da egri chiziqli bilan ifodalanib, II to'g'ri chiziqli davomi sifatida ko'rinadi. Murin grafigida bu egri chiziqli eng pastki chiziqli to'g'ri keladi.

Birinchi sohada:

a) Re ning 100000 gacha qiymatlarida tezlik v ning 1,75 ($m = 1,75$) darajasiga proporsional;

b) H_d barcha chiziqlar bitta to'g'ri chiziqli bilan birlashib ketgani uchun g'adir-budirlikka bog'liq emas (ya'ni quvur devoridagi do'ngliklar laminar qavat ichida qoladi);

v) H_d , shuningdek, λ Blazius yoki Prandtl formulasidagi kabi faqat Reynolds soniga bog'liq, ya'ni $\lambda = f(Re)$.

Ikkinchi soha g'adir-budir quvurlarning gidravlik qarshiliklari uchun kvadratik qarshilik sohasi deyiladi. II to'g'ri chiziqli ajralib chiqib boshlagan chegarada $m = 1,75$ bo'lib, punktir chiziqli o'ngda $m = 2$ bo'ladi. Bu oraliqdagi chiziqli 1,75 va 2 orasidagi qiymatlarga mos kelib, bir tekis g'adir-budirlikka ega bo'lgan quvurlar uchun maksimumga ega bo'lishi mumkin. Tabiiy quvurlar uchun esa m ning qiymati, yuqorida aytilgan oraliqda, $m = 1,75$ dan $m = 2$ ga tekis o'zgarib boradi.

Shuning uchun ikkinchi sohada λ Reynolds soniga ham nisbiy g'adir-budirlikka ham bog'liq bo'ladi.

$$\lambda = f(Re, \epsilon) \quad (6.28)$$

Uchinchi soha g'adir-budir quvurlarning kvadratik qarshilik sohasi bo'lib, u punktir chiziqli o'ng tomonida joylashadi, turli g'adir-

budirliklar uchun tuzilgan tajriba chiziqlarining barchasi $lg Re$ o'qiga parallel joylashadi.

Bu sohada:

- a) bosimning pasayishi tezlik kvadratiga proporsional;
- b) λ koeffitsiyent Reynolds soniga bog'liq emas;
- v) H_c va faqat nisbiy g'adir-budirlikka bog'liq.

6.10. Darsi koeffitsiyentini aniqlash uchun formulalar va ularning qo'llanish sohalari

Darsi koeffitsiyenti λ ning Reynolds Re sonining ortishiga qarab qanday o'zgarib borishini yuqorida, Nikuradze va Murin grafiklari asosida ko'rib chiqdik. Ko'rib o'tilgan sohalarda λ ning o'zgarishi qonunini empirik formulalar bilan ifodalashga juda ko'p mualliflarning ishlari bag'ishlangan. Misol uchun silliq quvurlar sohasida Blazius (6.23), P.K.Konakov (6.24) va L. Prandtl (6.25) formulalari keltirilgan va ularning qo'llanish sohalari haqida to'xtalib o'tgan edik. 1938 yili Kolburk o'zining va boshqa mualliflarning tajribalari asosida texnik quvurlarni hisoblash uchun turbulent tartibning barcha zonalari umumiy bo'lgan formulani taklif qiladi.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2.5}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{c}{3.7} \right) \quad (6.29)$$

Bu formulani g'adir-budir quvurlarning kvadratik qarshilik sohasi uchun soddalashtirsak, g'adir-budir quvurlar uchun Prandtl formulasi ko'rinishiga keladi:

$$\lambda = \frac{0.25}{\left(\lg \frac{c}{3.7} \right)^2} \quad (6.30)$$

Kvadratik qarshilik sohasi uchun eng ko'p tarqalgan formulalardan biri Nikuradze formulasi hisoblanadi:

$$\lambda = \frac{1}{(1.74 - 2 \lg x)^2} \quad (6.31)$$

Turbulent tartibning barcha sohalarda o'z ichiga oluvchi va hisoblash ishlarida (6.29) ga ko'ra qulayroq formulani A.D. Altshul tajribalariga asoslanib, λ ning keng sohasi uchun o'rinli formula taklif qildi.

$$\lambda = 0.11 \left(\varepsilon + \frac{68}{Re} \right)^{1.25} \quad (6.32)$$

Bu formula nazariy asosga ham ega va A.D. Altshul tajribalariga asosan xususiy hollarda sodda ko'rinishlarga keladi:

1) $Re < 10$ bo'lganda, silliq quvur bo'ladi va (6.32) Blazius formulasiga aylanadi:

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{68}{Re} \right)^{1.25} = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

2) $10 < \frac{300}{\varepsilon}$ bo'lganda, λ ga Re ham, ε ham ta'sir ko'rsatadi va kvadratgacha qarshilik sohasiga to'g'ri keladi. Bu holda (6.32) soddalashmaydi.

3) $Re > \frac{300}{\varepsilon}$ bo'lganda, esa kvadratik qarshilik sohasi bo'lib, (6.52) Shiferson formulasi deb ataluvchi quyidagi formulaga aylanadi:

$$\lambda = 0.11 \sqrt{\varepsilon} \quad (6.33)$$

Bu formula bo'yicha hisoblangan λ ning qiymatlari uning Nikuradze formulasi bo'yicha hisoblangan qiymatlariga yaqin keladi.

Prof. Q.Sh. Latipov tomonidan olingan quyidagi formula Nikuradze grafigini to'liq ifodalaydi (1.60-rasm).

$$\lambda = \frac{8 J_2^2(x)}{Re J_3(x)}, 0 \leq Re \leq 10^6 \quad (6.34)$$

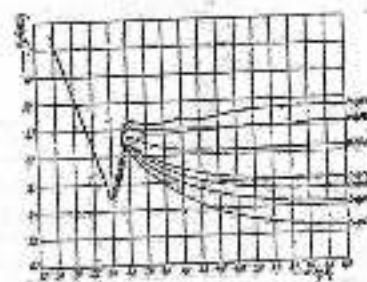
bu yerda J_2, J_3 - mavhum argumentli Bessel funksiyalari

$$J^2 = 0.0025 \frac{1+bRe}{1+aRe} \left[1 - \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(a-b)^2}{2\sigma^2}} \right]$$

$$a = 10^{-4}, b = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^{1.25} 10^{-5}, \sigma = 0.43$$

$$y = \left(\frac{Re}{a_\varepsilon} \right)^{\frac{1}{n}}; y_0 = \left(\frac{Re_0}{a_\varepsilon} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$a_\varepsilon = 3500, n = 3$$



6.8-rasm. λ ning (6.34) formula bo'yicha hisoblangan grafigi.

6.11. Nosilindrik quvurlardagi harakatlar

Nosilindrik quvurlarda suyuqlik harakat qilgandagidek hollar uchun ham bosimning kamayishi Darsi formulasi bo'yicha hisoblanadi. Lekin, bu holda hisoblash quvur diametri D bo'yicha emas, balki gidravlik radius bo'yicha hisoblanadi. Bu holda Darsi formulasi (6.20) ko'rinishida yoziladi

$$H_f = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}$$

Nosilindrik quvurlarda harakat tartibi ham gidravlik radius orqali ifodalangan Reynolds soni

$$Re = \frac{vR}{\nu}$$

yoki aytilgan quvurlar uchun qabul qilingan Reynolds soni

$$Re = \frac{Re}{4} = \frac{vR}{\nu}$$

bo'yicha hisoblanadi. Bu holda yangi turdagi Reynolds sonining kritik qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$Re_{kr} = \frac{Re_{kr}}{4} = 575$$

Bu holda, laminar harakat uchun qarshilik koeffitsiyenti yangi Reynolds soniga mos ravishda o'zgaradi.

Nosilindrik quvurlarga misol sifatida quyidagilarni ko'rsatish mumkin.

1) halqasimon quvur.

a) harakat kesim

$$\omega = \pi(r_2^2 - r_1^2);$$

b) ho'llangan perimetr

$$\chi = 2\pi(r_2 + r_1);$$

v) gidravlik radius

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{r_2 - r_1}{2};$$

2) teng tomonli uchburchak quvur

a) harakat kesimi

$$\omega = \frac{a^2\sqrt{3}}{4};$$

b) ho'llangan perimetr $\chi = 3a$;

v) gidravlik radius $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{a}{4\sqrt{3}};$



6.9-rasm. Halqasimon quvurning kesimi.



6.10-rasm. Teng tomonli uchburchak quvurning kesimi

3) to'g'ri to'rtburchak quvur

a) harakat kesimi

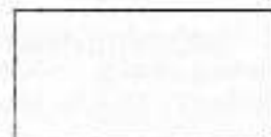
$$\omega = ab$$

b) ho'llangan perimetr

$$\chi = 2(a + b)$$

v) gidravlik radius

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{ab}{2(a + b)}$$



6.11-rasm. To'g'ri to'rtburchak quvurning kesimi

Nosilindrik quvurda turbulent harakat qilayotgan suyuqlik uchun Darsi koeffitsiyenti yuqorida keltirilgan formulalar bo'yicha hisoblanib, Reynolds soni Re o'rniga unga teng bo'lgan $4Re$ miqdor qo'yiladi. Nisbiy g'adir-budirlik esa $\epsilon = \frac{\Delta}{D} = \frac{\Delta}{4R}$ bo'yicha hisoblanadi. Bundan ham soddaroq qilib aytganda, ekvivalent diametr $d_{ek} = 4R$ tushunchasi kiritilib, avvalgi keltirilgan Darsi formulasi Reynolds soni va λ uchun formulalarga D o'rniga d_{ek} qo'yib, avvalgidек hisoblanadi.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma

Masala: Gidrotizim uchlariga o'rnatilgan manometrlarning ko'rsatishlari $P_1 = 4$ kPa va $P_2 = 0,5$ kPa bo'lib, gidrotizim uzunligi $l = 500$ sm va diametri $d = 20$ mm bo'lsa, gidrotizimdagi harorati $t = 50^\circ\text{C}$ bo'lgan motor moyining sarfini aniqlang ($\rho = 950$ kg/m³)

Yechimi: Jadvaldan harorati $t = 50^\circ\text{C}$ bo'lgan motor moyining kinematik yopishqoqlik koeffitsiyentini $\nu = 30$ mm²/s deb olamiz.

Suyuqlik sarfini u holda quyidagicha aniqlaymiz:

Suyuqlik harakat rejimi laminar ekanligini inobatga olib, Puazeyl qonuni asosida bosimning kamayishini aniqlaymiz:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{128\nu l Q}{\pi d^4}$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi d^4}{128 \nu l} = \frac{(3,5 - 0,5) \text{ Pa} \cdot \pi \cdot (0,02 \text{ m})^4}{128 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 950 \cdot 50} = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Suv quvurining diametri $d = 200$ mm, suv harorati $t = 18^\circ\text{C}$ bo'lganda gidravlik ishqalanish koeffitsiyentining Reynolds soniga bog'liqlik grafigini yasang. Sarf o'zgarishini quyidagi miqdorda qabul qiling: $Q = 1 \dots 40$ l/s. Quvurning g'adir-budirli $\Delta = 0,1$ mm.

2. Sug'urish tizimlarida polietilen (yelim) quvurlar ishlatiladi. Quvurning uzunligi $l=500$ m, diametri $d=150$ mm, suvning sarfi $Q=30$ l/s va harorati $t=18^{\circ}\text{C}$ bo'lganda quvurda yo'qolgan damni aniqlang.

VI bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti?
2. Absolyut va nisbiy g'adir-budirlik?
3. Nikuradze va Murin grafiklari?
4. Darsi koeffitsiyentini aniqlash uchun formulalarning qo'llanish sohalari?
5. Nosilindrik quvurlardagi harakatlar?

VII BOB. MAHALLIY GIDRAVLIK QARSHILIKLAR

Suyuqlik quvurlarda harakat qilganda, turli to'siqlarni aylanib o'tish uchun energiya sarflaydi. Ana shu sarflangan energiya suyuqlik bosimining pasayishiga sabab bo'ladi. Quvurlarda turli to'siqlar bo'lib, ularni aylanib o'tish uchun sarf etiladigan energiya bu to'siqlarning soniga va turlariga bog'liq.

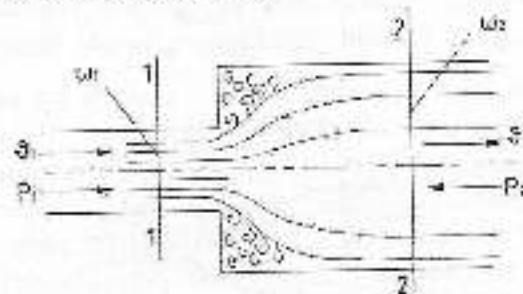
7.1. Mahalliy qarshilikning asosiy turlari. Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti

Mahalliy qarshilikning juda ko'p turlari mavjud bo'lib, ularning har biri uchun bosimning pasayishi turlichadir. Amaliy hisoblashlarda mahalliy qarshiliklarda bosimning pasayishini solishtirma kinetik energiyaga proporsional qilib olinadi:

$$H_{\text{m}} = \xi \frac{v^2}{2g}$$

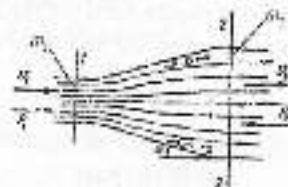
Proportsionallik koeffitsiyenti ξ mahalliy qarshilik koeffitsiyenti deb ataladi va asosan tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Mahalliy qarshiliklarning asosiy turlari haqida to'xtalib o'tamiz.

1) **Keskin kengayish** (7.1-rasm). Mahalliy qarshilikning bu turida ξ koeffitsiyent kesimlarning o'zgarishiga bog'liq bo'lib, kesimlar - $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ qancha kichik bo'lsa, u shuncha katta bo'ladi. Bu holda, mahalliy qarshilik koeffitsiyentini nazariy hisoblasak ham bo'ladi (bu to'g'rida keyinroq to'xtalamiz). Keskin kengayishda 2-2 kesimda 1-1 kesimga nisbatan bosim ortib ($p_2 > p_1$), tezlik kamayadi ($V_2 < V_1$).



7.1-rasm. Keskin kengayish.

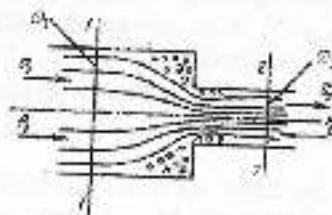
2) **Tekis kengayish** (7.2-rasm). Mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti kesimlar nisbatiga bog'liq bo'lib, kesimlar nisbatining kamayishi va α ning ortishiga qarah ortadi.



7.2-rasm. Tekis kengayish.

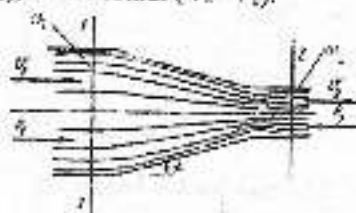
Avval ko'rilgandagi kabi 2-2 kesimda 1-1 kesimdagiga nisbatan bosim ortadi ($p_2 > p_1$) va tezlik kamayadi ($V_2 < V_1$).

3) **Keskin torayish** (7.3-rasm). Mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti ξ kesimlar nisbatiga bog'liq bo'lib, ularning nisbati ortishi bilan ortadi. Bu holda energiyaning sarf bo'lishi keskin kengayishga nisbatan kam bo'ladi.



7.3-rasm. Keskin torayish.

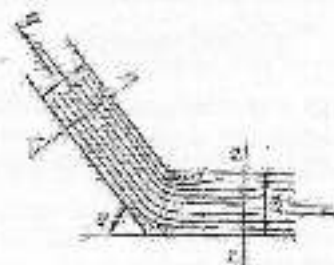
4) **Tekis torayish** (7.4-rasm). Mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti kesimlar nisbatiga bog'liq bo'lib, kesimlar nisbatining kamayishi bilan ortadi. Keskin torayishda ham, tekis torayishda ham 2-2 kesimda 1-1 kesimga nisbatan bosim kamayib ($p_2 < p_1$), tezlik ortadi ($V_2 > V_1$).



7.4-rasm. Tekis torayish.

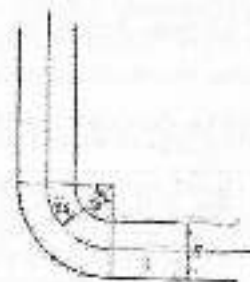
5) **Tirsak** (7.5-rasm). Mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti ikki quvurning tutashish burchagiga bog'liq bo'lib, bu burchakning ortishi bilan ortadi.

ξ ning φ ga bog'liqligi asosan tajribada tekshirilgan bo'lib, ba'zi oddi hollari oqimchalar nazariyasida ko'rilgan.



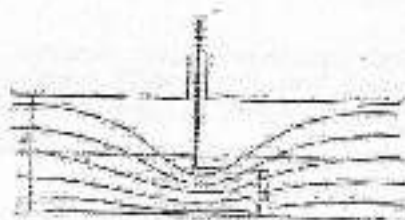
7.5-rasm. Tirsak.

6) **Burilish** (7.6-rasm). Mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti burilish burchagi φ va quvur diametrining burilish radiusi R ning nisbatiga bog'liq bo'ladi. Burilishda ξ quvur diametrining burilish radiusiga nisbati $\frac{D}{R}$ ortishi bilan ortib boradi.



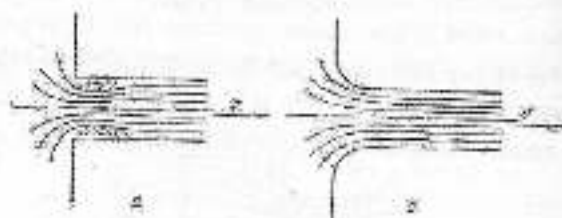
7.6-rasm. Burilish.

7) **Quvurga kirish** (7.7-rasm). Agar quvur biror suyuqlik bilan to'la idishga tutashirilgan bo'lsa, u holda kirishdagi o'tkir burchaklarini (7.7-rasm, a) aylantirib o'tish uchun suyuqlik energiyasi sarf bo'ladi. Bu holda mahalliy qarshilik ko'effitsiyentining qiymati: $\xi = 0,5$. Kirishdagi o'tkir burchaklar silliqqlanib, quvurga suyuqlik kiritishiga kam qarshilik ko'rsatadigan shakl berilgan bo'lsa, ξ ning miqdori kirishning silliqlik darajasiga qarab $\xi = 0,04 + 0,10$ oralig'ida bo'ladi (ko'p hollarda o'rtaicha $\xi = 0,08$ qabul qilinadi).



7.7-rasm. Quvurga kiritish.

8) **Diafragma.** Quvurga o'rnatiladigan va suyuqlik sirtini o'lchash uchun ishlatiladigan o'rtasi teshik disk diafragmaga aytiladi (7.8-rasm). Bu holda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti quvurning kesimi S_1 va diafragma teshigi kesimi ω_0 ning nisbati $\frac{\omega_0}{S_1}$ ga bog'liq bo'ladi va bu nisbatning ortishi bilan kamayib boradi (7.1-jadval).



7.8-rasm. Berkitgich.

7.1-jadval. Diafragma uchun qarshilik koeffitsiyentining o'zgarishi

$\frac{\omega_0}{S_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Z	226	47,8	17,5	7,80	3,75	1,80	0,80	0,29	0,06	0,00

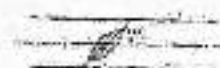
9) **Berkitgich (zadvijka).** Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti eshikchaning (7.8-rasm) ochilish darajasiga bog'liq bo'lib, uning ochilishi kattalashishi bilan kamayib boradi. Uning o'rtacha ochilishiga $\xi = 2,0$ to'g'ri keladi.

10) **Drossel klapan** (7.9-rasm) va **tiqin-jo'mrak** (7.10-rasm). Bu hollarda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti drossel klapaning va tiqin jo'mrakning ochilish burchagiga bog'liq bo'lib, $\alpha=20^\circ$ dan 50° gacha bo'lganda ξ ning qiymatlari:

Drossel klapan uchun $\xi = 2 + 53$.



7.9-rasm. Drossel klapan.



7.10-rasm. Tiqin jo'mrak.

Tiqin-jo'mrak uchun $\xi = 2,33$ atrofida bo'ladi. Bulardan tashqari, ventillar, jo'mraklar va boshqalarda ham mahalliy qarshilikning kamayishini kuzatish mumkin.

7.2. Reynolds sonining katta qiymatlari uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti

Biz mahalliy qarshiliklarni vujudga keltiruvchi to'siqlarning turlari to'g'risida to'xtalib o'tdik. Bu to'siqlarda oqimning turbulent tartibga xos bo'lgan hollaridagi qarshilik koeffitsiyentining o'zgarishini ko'rgan edik. Turbulent harakat vaqtida ξ koeffitsiyenti qarshilik ko'rsatuvchi to'siq shakliga, kattaligiga, to'siqlarning ochilish darajasiga bog'liq bo'lishidan tashqari, suyuqlik harakatining tartibiga, ya'ni Reynolds soniga ham bog'liq bo'ladi. Tajribalar ko'rsatishicha, Reynolds sonining katta qiymatlarida harakat tartibi turbulent bo'lsa, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ξ ning Reynolds soniga bog'liqligi juda ham sezilarli darajada bo'lib, bu bog'liqlikni to'siqlar shakli, turi va ochilish darajasining ta'siriga nisbatan hisobga olmaslik mumkin. Quyida biz turbulent oqim uchun mahalliy qarshilikning asosiy turlarida ξ koeffitsiyentni hisoblash ustida to'xtalib o'tamiz.

7.3. Quvurning keskin kengayishi (Bord teoremasi)

Quvurning keskin kengayishi va bunda oqimning taxminiy sxemasi 7.1-rasmida keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, oqim quvurning tor kesimidan keng kesimga o'tganda burchaklarda suyuqlik quvur sirtida ajraladi. Natijada oqim keskin kengayadi va oqim sirti bilan quvur devori orasidagi halqasimon oraliqda aylanma (uyurmanli) harakat vujudga keladi. Kuzatishlar shuni ko'rsatadiki, asosiy oqim hamda aylanayotgan suyuqlik o'rtasida zarrachalar u tomondan bu tomonga o'tib turadi. Quvurning keskin kengayishida mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ξ ni nazariy usul bilan hisoblash mumkin. Buning uchun quvurning tor qismida 1-1 kesim olamiz. Quvurning kengaygan qismida esa keskin kengayishdan keyin oqim kengayib bo'lib, barqarorlashgan qismida 2-2 kesim olamiz. 1-1 kesimda tezlik $\mathcal{Q}_1$, bosim p_1 2-2 kesimda esa tezlik $\mathcal{Q}_2$ va bosim p_2 bo'lsin. Bu

kesimlarga pezometr o'rnatib, $p_2 > p_1$ bo'lgani uchun 1-1 kesimdagi pezometrda suyuqlik sathi 2-2 kesimdagi pezometrda suyuqlik sathidan h qadar past bo'ladi. Agar kesimning kengayishi hisobiga gidravlik yo'qotish bo'lmaganda edi, bu farq Δh miqdorda ko'proq bo'lardi. Ana shu ikkinchi pezometrda suv sathining Δh qadar pasayib qolishi mahalliy gidravlik yo'qotishdan iboratdir.

1-1 kesimning sirti ω_1 2-2 kesimning sirti esa ω_2 bo'lsin. U holda bu kesimlar yuzasi bo'yicha tezlik bir xil (ya'ni $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 1$) deb hisoblasak, Bernulli tenglamasi shunday yoziladi

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{\text{uz}} \quad (7.2)$$

Endi, 1-1 va 2-2 kesimlar o'rtasidagi suyuqlikning silindrik hajmi uchun harakat miqdorining o'zgarishi teoremasini qo'llaymiz. Buning uchun yon sirtlardagi urinma zo'rqlashni taxminan nolga teng deb olib, aytilgan hajmga ta'sir qilayotgan tashqi kuchlar impulsini hisoblaymiz. 1-1 kesimni quvvat kengayish kesimining ustida olingan deb qarash mumkin. U holda silindri asoslarining yuzalari tengligidan ularga ta'sir qiluvchi impuls o'zgarishi shunday yoziladi

$$(p_1 - p_2)\omega_1$$

1-1 kesimdagi harakat miqdori $\rho Q V_1$ va 2-2 kesimdagi harakat miqdori $\rho Q V_2$ bo'lgani uchun ular orasidagi harakat miqdorining o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi.

$$\rho Q(\omega_2 - \omega_1)$$

Bu ikki miqdorni tenglashtirib, ushbu tenglamani olamiz:

$$(p_1 - p_2)\omega_1 = \rho Q(\omega_2 - \omega_1)$$

Tenglamani ikki tomonini $\omega_2 \gamma$ ga bo'lsak u holda $Q = \omega_2 V_2$ ni hisobga olib, ushbu tenglamani olamiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\rho Q}{\omega_2} (\omega_2 - \omega_1) = \frac{\rho}{\gamma} (\omega_2 - \omega_1) \quad (7.3)$$

Oxirgi tenglamaning $\omega_2(\omega_2 - \omega_1)$ hadi ustida quyidagi amallarni bajaramiz

$$\omega_2(\omega_2 - \omega_1) = \omega_2^2 - \omega_1\omega_2 = \frac{\omega_2^2}{2} + \frac{\omega_1^2}{2} - \frac{2\omega_1\omega_2}{2} + \frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2}$$

U holda (7.3) tenglama ushbu ko'rinishga keladi

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\omega_2^2}{2g} - \frac{\omega_1^2}{2g} + \frac{2\omega_1\omega_2}{2g} - \frac{\omega_2^2}{2g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2g}$$

Oxirgi tenglama hadlarini bir xil indekslar bo'yicha guruhlasak,

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\omega_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\omega_2^2}{2g} + \frac{(\omega_1 - \omega_2)^2}{2g}$$

Bu tenglamani (7.2) bilan solishtirsak, quyidagi kelib chiqadi

$$h_{\text{uz}} = h_{\text{uz}} = \frac{(\omega_1 - \omega_2)^2}{2g} \quad (7.4)$$

Olingan (7.4) formula *Bord formulasi* deyiladi.

Bu formulaga asosan bosimning keskin kengayishdagi pasayishi tezlik kamayishi kvadratining ikkilangan erkin tushish tezlanishiga nisbatiga teng (Bord teoremasi).

Endi, (7.4) formulaga uzilmaslik tenglamasi

$$\omega_1\omega_2 = \omega_1\omega_2 \text{ yoki } \omega_2 = \frac{\omega_1}{\alpha_2}$$

ni qo'llasak, quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$h_{\text{uz}} = \left(\omega_1 - \frac{\omega_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{1}{2g} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{\omega_1^2}{2g}$$

Bu munosabatni (7.1) ga solishtirib, keskin kengayish uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti formulasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\zeta = \left(1 - \frac{\omega_1}{\alpha_2} \right)^2 \quad (7.5)$$

Bu olingan munosabat (tajribalarda tasdiqlanishicha) turbulent oqimlar uchun olingan tajriba natijalariga juda yaqin keladi. Shuning uchun u ko'rilgan hollarda hisoblash ishlarida keng qo'llaniladi. Quvurning kengaygan kesimi avvalgi kesimdan juda keng bo'lsa ($\omega_2 \gg \omega_1$), u holda $\zeta \approx 1$ bo'ladi

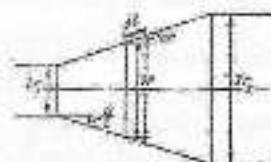
$$h_{\text{uz}} = \frac{\omega_1^2}{2g}$$

Bu xususiy holda oqimning barcha kinetik energiyasi mahalliy qarshilikning yengish uchun sarf bo'ladi.

Shuni aytish kerakki, ko'rilgan holdagi energiyaning hammasi quvurning keskin kengaygan qismida oqimning quvvat sirtidan ajrashi hisobiga hosil bo'lgan aylanma harakatning vujudga kelishiga va uning yangilanib turishiga sarf bo'ladi.

7.4. Diffuzorlar

Tekis kengayib boruvchi quvurlar (7.11-rasm) diffuzorlar deyiladi. Diffuzorlarda harakat tezligi kamayadi va bosim ortib boradi. Suyuqlik zarrachalari ortib borayotgan bosimni yengish uchun o'z kinetik energiyasini sarflaydi, natijada diffuzorlarning kengayish yo'nalishida kinetik energiya kamayib boradi. Suyuqlikning devor yonidagi qavatlarining energiyasi shunchalik kamayadiki, ortib borayotgan bosim kuchini yenga olmay qoladi va natijada harakatdan to'xtaydi yoki teskari yo'nalishda harakat qila boshlaydi. Asosiy oqim ana shu teskari harakatlanayotgan oqim bilan to'qnashishi natijasida uyurmali harakat vujudga kelib, oqimning quvur sirtidan ajralish hodisasi yuz beradi. Bu hodisaning tezkorligi diffuzorning konuslik burchagi ortishi bilan kuchayib boradi va uyurmali harakat hosil qilishga surf bo'layotgan energiya ham ortadi. Bundan tashqari diffuzorda ishqalanish kuchini ham hisobga olish mumkin.



7.11-rasm. Diffuzorlarda bosimning kamayishini hisoblashga doir chizma.

Shunday qilib, diffuzorlarda bosimning pasayishi ikki yig'indidan iborat deb qaraladi

$$h_{\text{tot}} - H_{\text{st}} = h_1 + h_{\text{diff}},$$

bu yerda h_1 - bosimning ishqalanish hisobiga pasayishi; h_{diff} - bosimning kengayish hisobiga pasayishi. Bosimning ishqalanish hisobiga pasayishini taxminan hisoblash mumkin. Buning uchun diffuzorni diametri $2r$, yon sirti diffuzor sirti bilan $\frac{\alpha}{2}$ burchak tashkil qilgan va radiuslari r_1 dan r_2 gacha o'zgarib boruvchi uzunligi dl bo'lgan elementar silindrik naychalardan tashkil topgan deymiz (7.11-rasm). U holda har bir elementar naycha uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$dh = \lambda \frac{dl}{2r} \frac{v^2}{2g}$$

V - ixtiyoriy ko'rilayotgan kesimdagi o'rtacha tezlik va ixtiyoriy kesim yuzasi $S = \pi r^2$ ga teng desak;

$$dl = \frac{dr}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad \text{va} \quad \rho_1 \frac{v_1^2}{2g} = \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 \rho_2 \frac{v_2^2}{2g}$$

ni hisobga olib

$$dh_1 = \lambda \frac{dr}{2r \sin \frac{\alpha}{2}} \left(\frac{r_1}{r} \right)^4 \frac{v_1^2}{2g}$$

formulani keltirib chiqaramiz.

Bu tenglikda dr (ya'ni dh) ni nolga intiltirib borsak, bosimning ishqalanish hisobiga kamayishni tenglikning chap tomondan 0 dan h_1 gacha, o'ng tomondan r_1 dan r_2 gacha integral olish yo'li bilan hisoblaymiz:

$$h_1 = \lambda \frac{r_1^2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \frac{v_1^2}{2g} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^5} = -\frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left[\left(\frac{r_1}{r} \right)^4 \right]_{r_1}^{r_2} \frac{v_1^2}{2g} \quad (7.6)$$

Kengayish hisobiga bosimning pasayishini hisoblash uchun keskin kengayishdagi (7.4) formuladan foydalanamiz va bunda diffuzor keskin kengayishini taxminiy ifodalanganini uchun k koeffitsiyent kiritamiz. U holda

$$h_{\text{diff}} = k \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = k \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \frac{v_1^2}{2g} \quad (7.7)$$

k - tajribada aniqlanadigan koeffitsiyent bo'lib, $5 - 20^0$ konuslik burchagiga ega bo'lgan diffuzorlar uchun I.E. Idelshikning tajribadan aniqlangan formulasi bo'yicha

$$k = 3.2 \tan \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{\alpha}{2}}$$

Flingerning taxminiy formulasi bo'yicha

$$k = \sin \alpha$$

ga teng. Buni hisobga olib (7.6) va (7.7) yig'indisidan quyidagini olamiz:

$$H_{\text{st}} - h_{\text{st}} = \left[\frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) - \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)^2 \right] \frac{v_1^2}{2g} = \zeta_{\text{diff}} \frac{v_1^2}{2g} \quad (7.8)$$

bu yerda $n = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$ belgilash kiritilgan bo'lib, u diffuzorning kengayish darajasi deyiladi.

Shunday qilib, diffuzor uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\zeta_{\text{diff}} = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)^2 \quad (7.9)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti λ_n konuslik burchagi va kengayish darajasiga bog'liq ekan.

(7.9) dan ko'rinib turibdiki, α ning n ning o'tishi bilan (λ_n o'zgarmas bo'lganda) yig'indining birinchi hadi kamayadi, ya'ni ishqalanish kuchining ta'siri kamayib, diffuzor kaltalashadi va uyurmalarining ta'siri ko'payadi, α kamayganda esa (α o'zgarmas kengayish darajasi n da) ishqalanish kuchi ortib, uyurmalar kamayadi.

Hisoblashlarda odatda $\lambda_n = 0,015 \div 0,025$ deb olinadi. Bu holda, eng qulay diffuzor uchun nazariy yo'l bilan kengayish darajasi $n = 2 \div 4$ ni keltirib chiqaramiz. Bu konuslik burchagi $\alpha = 6^\circ$ ga to'g'ri keladi.

Amalda diffuzorning uzunligini kamaytirish uchun n va α biroz kattaroq qilib, $\alpha = 7^\circ \div 9^\circ$ atrofida olinadi.

7.5. Quvurlarning torayishi

Keskin torayishda (7.3-rasm) kesimlar nisbati bir xil bo'lgan keskin kengayishga nisbatan kamroq energiya sarf bo'ladi. Bu holda energiyaning sarf bo'lishiga tor quvurga kirishdagi ishqalanish kuchi va uyurmalar paydo bo'lish sababdir. Uyurmalarining paydo bo'lishi esa oqimning tor quvurga kirish oldidagi burchakni aylanib o'ta olmay, keng quvur sirtidan ajralishiga va torayishiga, natijada quvur devori va oqim orasida juda sekin harakatlantiruvchi uyurmali oqim paydo bo'lishiga olib keladi. Oqimning torayishi u tor quvurga kirganda ham davom etadi va so'ngra kengayadi. Bu davrda gidravlik yo'qotish keskin kengayishdagi kabi aniqlanadi. Shunday qilib, bosimning to'liq pasayishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$H_{11} - H_0 = \zeta_0 \frac{H_0^2}{2g} + \frac{(\theta_0 - \theta_1)^2}{2g} - \zeta_1 \frac{H_1^2}{2g}, \quad (7.10)$$

bu yerda: ζ_0 - tor quvurga kirishdagi ishqalanishni aniqlovchi qarshilik koeffitsiyenti; θ_1 - torayandagi tezlik.

Keskin torayishning qarshilik koeffitsiyenti torayish darajasi $\alpha = \frac{\omega}{\omega_0}$ ga bog'liq va I.E. Idelshik tomonidan taklif qilingan quyidagi yarim empirik formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$\zeta_{\alpha} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0} \right) + \frac{1}{3} \left(1 - \frac{\alpha}{\alpha_0} \right)^2 \quad (7.11)$$

Formulalardan ko'rinib turibdiki, $\frac{1}{\alpha} = 0$ deb hisoblash mumkin bo'lsa, ya'ni katta idishdan quvurga kirish holida, agar kirish burchagi silliqlangan

bo'lmasa, qarshilik koeffitsiyenti (1.70-rasm) $\zeta_{\alpha} = 0,5$ bo'ladi. Kirish burchagi (kirish qitrası) silliqlangan bo'lsa, qarshilik kuchi kamayadi.

Tekis torayish (7.11-rasm) konfuzor deb ataladi. Konfuzorda suyuqlik oqayotganda tezlik ortib, bosim kamayib boradi. Suyuqlik katta bosimli sohadan kichik bosimli sohaga qarab harakat qilgani uchun uyurmalar paydo bo'lishi va diffuzordagi kabi oqimning sirtidan ajralishiga hech qanday sabab yo'q. Shuning uchun konfuzorda energiya faqat ishqalanishga sarf bo'ladi. Shunday qilib, konfuzordagi qarshilik kuchi xuddi shunday diffuzordagiga qaraganda kichik bo'ladi.

Konfuzordagi bosimning pasayishini diffuzordagi kabi elementar bo'laklarga bo'lib, so'ngra integrallab hisoblash mumkin. Shu usul bilan quyidagi formulani olamiz:

$$H_{11} = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{\alpha^2} \right) \frac{H_0^2}{2g} \quad (7.12)$$

bu yerda α - torayish darajasi.

Tor quvurga kirishda oqimning devordan ajralishi va ozroq uyurma hosil bo'lishi kuzatiladi. Bu uyurmali yo'qotish uchun ba'zan konussimon quvurning silindrik quvurga tutashgan joyiga ma'lum shakl berilib, silliq tutashtiriladi. Bunday tutashtirilgan quvurlar sople deyiladi.

7.6. Tirsaklar

Quvurlarning keskin burilishi yoki tirsaklarda (7.5-rasm), odatda anchagina miqdorda energiya sarf bo'ladi. Tirsaklarda energiya sarfiga oqimning (quvur sirtidan) ajralishi va uyurmalar yuzaga kelishi sabab bo'lib, o' burchak qancha katta bo'lsa, sarf ham shuncha ko'p bo'ladi.

Silindrik quvurlardagi tirsaklarda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ζ_r burchakning o'sishi bilan juda keskin o'sib, $\varphi = 90^\circ$ da 1 ga teng bo'ladi. Kichik diametrli quvurlardagi tirsaklar uchun qarshilik koeffitsiyentini ushbu formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\zeta_r = 0,946 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\varphi}{2}. \quad (7.13)$$

Energiya sarfi katta bo'lgani uchun keskin burilishli tirsaklarni quvurlarda qo'llash tavsiya etilmaydi.

Quvurlardagi burilishlarni (7.6-rasm) ham, odatda, tirsaklar deb atash mumkin. Bunday burilishli tirsaklarda uyurmalar kamroq paydo bo'ladi. Bu holda qarshilik koeffitsiyenti ζ_b ni hisoblash uchun ushbu formuladan foydalaniladi:

$$\zeta_s = \left[0,131 + 0,163 \left(\frac{D}{R_s} \right)^{0,35} \right] \frac{\varphi}{90^\circ} \quad (7.14)$$

$\varphi = 90^\circ$ va $\frac{R_s}{D} \geq 1$ bo'lganda, tajribadan olingan quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$\zeta_s \approx \zeta'_s \approx 0,051 + 0,09 \frac{D}{R_s} \quad (7.15)$$

Burchak $\varphi \leq 70$ bo'lganda, qarshilik koeffitsiyenti

$$\zeta_s \approx 0,9 \sin \varphi \zeta'_s$$

Ga, $\varphi \geq 100$ da esa quyidagiga teng.

$$\zeta_s = \left(0,7 + \frac{0,35}{90^\circ} \right) \zeta'_s \quad (7.16)$$

Burilishdagi bosimning pasayishi qarshilik koeffitsiyenti aniqlashga keladi

$$H_M = h_s - \zeta_s \frac{\rho v^2}{2}$$

va u to'liq gidravlik yo'qotish bilan ishqalanishga, yo'qotishning ayinmasiga teng, ya'ni quvur egriligi hisobiga paydo bo'lgan qarshilikning ifodalaydi.

Irsaklarda qarshilik quvurning shakliga bog'liq bo'lib, u oqimning uyurmalar hosil qilishiga ta'sir qiladi. Bu masalalar ustida juda ko'p nazariy tekshirishlar va tajribalar mavjud bo'lib, biz ular to'g'risida to'xtalib o'tirmaymiz.

7.7. Reynolds sonining kichik qiymatlarida mahalliy qarshilik koeffitsiyenti

Yuqorida aytganimizdek, Reynolds sonining katta qiymatlarida (agar harakat turbulent bo'lsa) mahalliy qarshilikning Re ga bog'liqligi shunchalik kichikki, uning ta'sirini hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda, yuqorida keltirilgan usullar bilan turli qarshilik koeffitsiyentlarini hisoblash mumkin.

Laminar harakat vaqtida esa umumiy qarshilik ishqalanish kuchi va uyurmalar yuzaga kelishi hisobiga paydo bo'lgan qarshiliklar yig'indisiga teng. Buni hisobga olib, o'tkazilgan tajribalar mahalliy qarshilik koeffitsiyentini quyidagi ko'rinishda ifodalashga imkon beradi:

$$\zeta = \frac{A}{Re} + B \quad (7.17)$$

Keyinchalik o'tkazilgan A.D. Altshul, V.N. Karayev va N.Z. Frenkellarning tajribalari Reynolds sonining kichik qiymatlarida ($Re < 9$)

mahalliy qarshilik koeffitsiyentini Re ga teskari proporsional ko'rinishda olish mumkin ekanligini ko'rsatadi:

$$\zeta = \frac{A}{Re}$$

Demak, Reynolds sonining juda kichik qiymatlarida qarshilik koeffitsiyenti mahalliy qarshilikning shakliga bog'liq bo'lmay, faqat Re soniga bog'liq bo'lar ekan.

Laminar tartibli oqimlar uchun Reynolds sonining kattaroq qiymatlarida esa mahalliy qarshilik (2.17) ka qaraganda biroz murakkabroq ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$\zeta = \frac{C}{Re^m} \quad (7.18)$$

bu yerda: C va m - mahalliy qarshilikning qaysi ko'rinishida bo'lishiga bog'liq koeffitsiyentdir.

F.P. Tolstolesovning tajribalari bo'yicha $m = 0,285$ bo'lib,

$$\zeta = \frac{C}{Re^{0,285}}$$

"Azneftkombinat"ning gidravlik laboratoriyasida o'tkazilgan tajribalar bo'yicha $m = 0,25$ bo'ladi:

$$\zeta = \frac{C_1}{Re^{0,25}}$$

Tajriba natijalaridan ko'rinadiki, Reynolds sonining kattaligi ortishi bilan mahalliy qarshiliklar shaklining ta'siri ortib boradi, $Re > 3500$ bo'lganda, xususan turbulent tartibga o'tganda, bu ta'sir hal qiluvchi rol o'ynaydi.



7.12-rasm. Kichik Re da mahalliy qarshilik.

Misol sifatida 7.12-rasmida diafragma uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyentining Re ning o'zgarishi bo'yicha o'zgarib borishini to'rtta diafragma uchun keltirilgan.

Bu rasmdan Reynolds sonining kichik qiymatlarida $10^5, 10^6$ ga chiziqli bog'liq bo'lib, mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti uchun (2.17) formulaning to'g'ri ekanligi ko'rinadi. Reynolds soni kattalashgan sari bu qonuniyat o'zgarib boradi.

Mahalliy qarshiliklarda Re soni kichik bo'lgan hollarda amaliy hisob ishlari uchun gidravlik yo'qotishni quvurning ekvivalent uzunligi bilan almashtiriladi. Ekvivalent uzunlik deb ko'rilayotgan quvurning shunday uzunligi olinadiki, undagi ishqalanish qarshiligi mahalliy qarshilikka teng. Bu holda:

$$H_M = \zeta_M \frac{\rho^2}{2g} = \lambda \frac{r_M}{D} \frac{\rho^2}{2g} \quad (7.19)$$

Bundan ekvivalent uzunlik uchun formula chiqaramiz:

$$l_{eq} = \zeta_M \frac{D}{\lambda} \quad (7.20)$$

Ekvivalent uzunlikni turli mahalliy qarshiliklar uchun, odatda, tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

7.8. Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitatsiya hodisasi

Suyuqliklarda gazlarning erishi haqida so'z yuritilgan 8-§ da biz kavitatsiya hodisasi ustida to'xtalib o'tdik va kavitatsiya hodisasi suyuqliklarda agregat holatining o'zgarishi bilan bog'liq ekanligi ko'rsatiladi. Unda kavitatsiya hodisasi bosimning kamayishi yoki temperaturaning ortishiga bog'liq ekanligi aytilgan edi. Mahalliy qarshiliklarda temperatura o'zgarmay, oqim kesimining o'zgarishi natijasida suyuqlikda erigan gazlarning miqdori o'zgaradi. Suyuqliklarning zichligi (yoki solishtirma hajmi) deyarli o'zgarmagani uchun unda erigan gazlarga Boyle-Mariot qonunini qo'llash mumkin bo'ladi.

$$pV = RT$$

bu yerda p - bosim, V - solishtirma hajm, T - absolyut temperatura, R - gaz doimiysi.

Suyuqlik oqimlarida temperatura o'zgarmagani va ko'ndalang kesim kichrayganda bosim ortib, kesim kattalashganda bosim kamaygani uchun mahalliy torayish mavjud joylarda tezlik ortib, bosim kamayadi (masalan, keskin torayish, konfuzor, jo'mraklar, teshikchalar, diafragmalar va h. k.). Agar bu yerda absolyut bosim suyuqlikning to'yingan bug'larining shu temperaturadagi partial bosimga teng bo'lsa, u holda bug'lanish va erigan gazlarning ajralish hodisasi yoki mahalliy qaynash hodisasi ro'y beradi. Torayishdan keyin kengayish boshlanishi bilan bosim ortib, qaynash to'xtaydi va ajralgan bug'lar kondensatsiyalanib, gazlar eriydi, ya'ni

kavitatsiya hodisasi yuz beradi. Kavitatsiya hodisasi yuqori chastotali mahalliy kichik gidravlik zarbalarning kelib chiqishiga sabab bo'ladi. Bu hodisa gidrosistemalarda odatdagi tartibning buzilishiga, ayrim hollarda esa, uning qismlarining ishdan chiqishiga sabab bo'ladi, quvurlarda qarshilikning ortishiga olib keladi.

Shuning uchun mahalliy qarshiliklarda kavitatsiyaning kelib chiqishiga qarshi kurash olib boriladi. Bunday usullardan biri mahalliy qarshilikning bosim kamayuvchi qismida klapanlar yordamida bosimni ko'tarishdan iborat. Lekin bu usul bosimning pasayish darajasi yuqori bo'lganda ko'p foyda bermaydi, ammo kavitatsiyaning zararli ta'sirini kamaytirishga yordam beradi.

7.9. Kavitatsiyadan amalda foydalanish

Kavitatsiya hodisasidan amalda foydalanish ham mumkin. Xususan bu hodisani sarfini stabilash maqsadida Venturi soplolaridan foydalanishda ko'rish mumkin (7.13-rasm). Kirishdagi bosim p_1 o'zgarmagan holda, chiqishdagi bosim p_2 kamayishi



7.13-rasm. Kavitatsiya hodisasidan sarfini barqarorlashda foydalanish uchun qurilma.

bilan oqimning tezligi va sarfi ortadi. Lekin tezlik ortishi bilan soploning toraygan qismida bosim kamayadi. Bu bosim kavitatsiyaning boshlanishiga olib keluvchi bosim miqdoriga tenglashsa yoki undan kamayssa, bug' va erigan gazlarning ajralib chiqishi natijasida suyuqlik qaynay boshlaydi. Bosimning bundan keyingi kamayishi kavitatsiya hodisasi tezkorligining ortishiga va natijada qarshilikning ortishiga, suyuqlik qaynashi boshlanishidan keyin, chiqishdagi bosimning kamayib borishiga qaramay, suyuqlik sarfining o'zgarmasdan qolishiga sabab bo'ladi. p_1 ning kamayishi faqatgina diffuzorda kavitatsiya zonasining kengayib borishiga olib keladi. Bu voqea gidrosistemalarning chiqish qismida bosim miqdorining o'zgarib turishi hollarida suyuqlik sarfini stabilash uchun kerak bo'ladi.

Ko'rilayotgan qurilmada (7.13-rasm) sarfini o'lchash bo'lib, u sarf o'zgarishining katta diapazonlarida $\frac{Q_1}{Q_2} \geq 10$ ni boshqarishga yordam

beradi. Bu holda kavitatsiya natijasida gidrosistema qismlarining buzilishi holi bo'lmaydi.

7.10. Mahalliy qarshiliklarning o'zaro ta'siri

Gidravlik sistemalarda umumiy qarshilik uning qismlaridagi ayrim qarshiliklarning yig'indisidan iborat. Masalan, quvurda bir qancha mahalliy qarshiliklar (tirsak, jo'mrak, diafragma, eshikcha va h.k.) bo'lib, ularni xarakterlovchi mahalliy qarshilik koeffitsiyentlari $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots, \zeta_n$ bo'lsin. Agar quvurning uzunligi z , diametri D va sarfi Q bo'lsa, undagi ishqalanish qarshiligi

$$H_s = \lambda \frac{z}{D} \frac{Q^2}{2g}$$

mahalliy qarshiliklar quyidagicha bo'ladi:

$$H_{s1} = \zeta_1 \frac{Q^2}{2g}$$

$$H_{s2} = \zeta_2 \frac{Q^2}{2g}$$

$$H_{s3} = \zeta_3 \frac{Q^2}{2g}$$

$$\dots$$

$$H_{sn} = \zeta_n \frac{Q^2}{2g}$$

Bularni qo'shib, umumiy qarshilikni topamiz:

$$H = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_n + \lambda \frac{z}{D} \right) \frac{Q^2}{2g} \quad (7.21)$$

Oxirgi munosabatda qavs ichidagi qiymat quvurdagi ishqalanish kuchi, qarshilik va mahalliy qarshilik koeffitsiyentlari yig'indisidan iborat bo'lib, sistemaning qarshilik koeffitsiyenti deyiladi:

$$\zeta_{\text{tot}} = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_n + \lambda \frac{z}{D} \quad (7.22)$$

Bu holda sistema uchun

$$H = \zeta_{\text{tot}} \frac{Q^2}{2g}$$

Qarshiliklarni bunday qo'shish uchun mahalliy qarshiliklar bir-biridan ma'lum masofada bo'lishi kerak, ya'ni har bir mahalliy qarshilik avvalgisidan shunday masofada bo'lishi keraki, unga kelayotgan oqim ayvalgi mahalliy qarshilikdan o'tishdagi hosil bo'lgan turli o'zgarishlar ta'siridan holi bo'lgan (turg'unlashgan) bo'lishi kerak. Masalan, turbulent ta'tibda oqayotgan suyuqlik, laminar oqimli quvurga kirgandan keyin shunday masofani o'tishi kerakki, bunda tezlikning laminar oqimga tegishli

tasvirlanishi vujudga kelishi kerak. Shuningdek, biror mahalliy qarshilikdan o'tayotganda buzilgan laminar oqimning yana turg'unlashuvi biror masofadan o'tganidan so'ng sodir bo'ladi.

Masalan, quvurlarning burilishlaridagi tartibning buzilishi quvur diametridan 50 marta katta masofada ham saqlanadi.

Turg'unlashuv masofasi l_{tr} quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$l_{\text{tr}} = 0.693 Re^{0.25} D$$

bu yerda D - quvurning ichki diametri

Quvurning kirish qismi juda yaxshi silliqlanganda laminar oqimning turg'unlashuv qismi $0.29 ReD$ gacha kamayadi.

Amalda mahalliy qarshiliklarni bir-biridan to'g'ri chiziqli bo'lak bilan ajratib, ular orasidagi masofani $l \leq (10 + 20)D$ ga tenglashtirishga harakat qilinadi.

Odatda, gidrosistemalarda mahalliy qarshiliklar bizning ixtiyorimizga bog'liq bo'lmagan holda turli masofalarga o'rnatilgani uchun ularning o'zaro ta'sirini hisobga olib bo'lmaydi va mahalliy qarshiliklardagi energiya sarfi taxminiy hisoblanadi. Boshqacha aytganda, mahalliy qarshiliklarning o'zaro ta'siri kichik miqdor sifatida nazarga olinmaydi. Umumiy qarshilik oldida bu kuchlar juda kichik bo'lgani uchun hisoblash natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma

Masala: Uzunligi $l=1,5$ km va diametri $d=250$ mm li quvurda benzin oqib o'tmoqda. Benzinning harorati $t=20^\circ\text{C}$, sarfi $Q=0,026$ m³/s. Quvurda yo'qolgan dam (napor)ni aniqlang. Agar quvurning diametrini 20% kamaytirsak yo'qolgan dam (napor) miqdori qanchaga o'zgaradi? Quvurning g'adir-budurli $\Delta=0,2$ mm.

Yechimi: L Quvurdagi oqim tezligi:

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = 0,53 \text{ m/s}$$

Suyuqlikning harakat rejimini aniqlaymiz: jadvaldan $t=20^\circ\text{C}$ haroratdagi benzinning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti $\nu=0,75$ mm²/s.

Reynolds soni:

$$Re = \frac{vd}{\nu} = 177 \cdot 10^3$$

demak, harakat rejimi turbulent.

U holda gidravlik ishqalanish ko'effitsiyentini Altshul formulani yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{L}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,02$$

Bosimning yo'qolishi: $\Delta P = \frac{\lambda L}{d} \cdot \frac{\rho V^2}{2} = 11,8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

II. Quvur diametrini 20% ga kamaytirsak:

$$d_1 = 0,8d = 200 \text{ mm}$$

U holda yo'qolgan bosim miqdori:

Demak, quvur diametrini 20% ga kamaytirsak, bosimning kamayishi (yo'qolgan napor) 3,2 marta oshar ekan.

Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Uzunligi $l=5 \text{ km}$, diametri $d=20 \text{ sm}$ bo'lgan po'lat quvurdan barorati $t=20^\circ\text{C}$ bo'lgan suv oqib chiqmoqda. Agar quvurdan o'tayotgan suv sarfi $Q=20 \text{ l/s}$ bo'lsa, gidravlik ishqalanish ko'effitsiyentini aniqlang.

2. Yuqoridagi masalada suv o'rniga neft oqib o'tayotgan bo'lsa, gidravlik ishqalanish ko'effitsiyenti qanday bo'ladi?

3. Laboratoriya sharoitida po'lat quvurning gidravlik ishqalanish ko'effitsiyentini aniqlash uchun, yangi po'lat quvurda tajribalar o'tkazadilar. Buning uchun uzunligi $l=6 \text{ m}$, diametri $d=200 \text{ mm}$ bo'lgan quvurga pezometr ulanib, ma'lum miqdor sarfini o'tkazadilar. Agar suv sarfi $Q=10 \text{ l/s}$ bo'lib, pezometrlardagi suyuqliklar sathining farqi $\Delta h=200 \text{ mm}$ bo'lganda gidravlik ishqalanish ko'effitsiyentini aniqlang.

4. Agar po'lat quvurni a) cho'yan; b) polietilen; v) asbestotsment quvurlar bilan almashtirsak pezometrda suyuqliklar sathining farqi o'zgaradimi?

VII bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Mahalliy qarshilikning asosiy turlari.
2. Mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti.
3. Bord teoremasi ta'rif.
4. Tirsaklar.
5. Kavitatsiya hodisasi.
6. Mahalliy qarshiliklarning o'zaro ta'siri.

VIII BOB. SUYUQLIKLARNING TESHİK VA NAYCHALARDAN OQISHI

Texnikada juda ko'p hollarda suyuqliklarning tor va katta naychalardan hamda teshiklardan oqish hollarini uchratish mumkin. Bu holning o'ziga hos xususiyati shundan iboratki, biror katta idishdagi suyuqliklarning potentsial energiyasi teshikdan chiqishda oqimchaning kinetik energiyasiga aylanadi. Albatta bu holda energiyaning bir qismi qarshiliklarni yengishga sarf bo'ladi. Bunday voqeani gidrouzatlarda moylarning gidrosilindrlardan bosim ostida oqib chiqishi, yoqilg'ining yonish kamerasiga oqib o'tish va hokazolarda uchratish mumkin. Odatda bu masalalarni yechishda oqim fizikasiga bog'liq shartlar kiritiladi.

8.1. Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o'zgaras bosimda oqishi

Biror katta idishda suyuqlik p_1 bosim ostida saqlanayotgan bo'lib, u ozod sirtidan H_0 masofadagi kichik teshikdan oqayotgan bo'lsin (8.1-rasm, a). Diametri idish o'lchamlariga qaraganda juda kichik bo'lgan teshik kichik teshik deb ataladi. Yupqa devor deb oqayotgan suyuqlik teshikning faqat ichki qirrasiga tegib, uning yon sirtiga tegmagan holga aytiladi. Bunday hol devor qalinligi teshik diametridan bir necha barobar kichik bo'lsa yoki teshik kesimining ichki qirrasidan tashqariga kengayib borsagina (8.1-rasm, b) o'rindi bo'ladi.

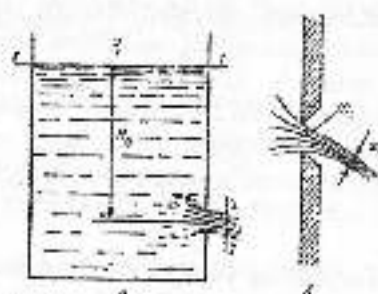
Bu holda suyuqlik zarrachalari teshik atrofidagi hajmdan tashqariga qarab harakat qiladi va teshikka yaqinlashgan sari tezlashib boradi. Shu bilan birga suyuqlikning oqayotgan zarrachalarning barchasi uchun bir xil sharoit bo'lib, ular silliq trayektoriya bo'yicha harakat qiladi va teshik qirrasida idish devoridan ajraladi. Bundan keyingi oqish davomida oqimchaning kesimi bir oz torayadi va silindrik shakl qabul qiladi. Ko'rilyotgan holda asosiy masala teshikdan iborat. Suyuqlikka to'ldirilgan idishda (8.1-rasm, a) yuzasi ω_1 bo'lgan 1-1 (erkin sirt) va ω_2 bo'lgan 2-2 oqayotgan suyuqlik oqimchasining teshik oldidagi kesimlari uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{\partial^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\partial^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \zeta \frac{v^2}{2g}. \quad (8.1)$$

Bundan teshik uchun mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti nolga teng bo'lgan holda $z_1 = z_2 = H$ va $\partial_1 \omega_1 = \partial_2 \omega_2$ ekanligini hisobga olsak, ushbu tenglamani olamiz:

$$\left[1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2\right] \frac{g_1^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + H,$$

bu tenglamadan oqimchaning nazariy hisoblangan tezligi uchun quyidagi munosabat kelib chiqadi:



8.1-rasm. Suyuqlikning teshiklaridan oqib ketishiga doir chizma.

$$g_1 = g_2 \sqrt{\frac{2\gamma \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + H}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}} \quad (8.2)$$

Agar idishning kesimi ω_1 ga qaraganda teshikning kesmi ω_2 juda kichik bo'lsa, u holda

$$g_1 = g_2 \sqrt{2g \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma} + H \right)}$$

Idishdagi suyuqlik sirtida ham, teshik tashqarisida ham atmosfera bosimi bo'lsa yoki $p_1 = p_2$ bo'lsa, u holda

$$g_1 = g_2 = \sqrt{2gH}. \quad (8.3)$$

Bu formula Torichelli formulasi deb ataladi, u suyuqlikning tor teshikdan oqishi tezlikni hisoblash uchun nazariy formuladir.

Suyuqlikning teshikdan oqish tezligi ma'lum bo'lgan holda sarfni hisoblash qiyin emas

$$Q_s = g_2 \omega_2. \quad (8.4)$$

Lekin amalda oqimcha teshikdan chiqayotganda uning kesimining torayishi sababli ko'rilayotgan masala biz ko'rgandagiga qaraganda murakkabroq. Shuning uchun biz chiqargan tezlik formulalari tezlik va sarfni nazariy tekshirish uchun qo'llanib, amalda esa ularga ma'lum tuzatishlar kiritiladi.

8.2. Siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari

Biz yuqorida suyuqlikning teshikdan oqishini ko'rganimizda oqimchaning teshikdagi kesimini olganimiz uchun oqimchaning va teshikning kesimini bir xil deb qaradik. Aslida esa suyuqlik teshikka uning atrofidagi hajmdan har tomonlama oqib kelgani uchun uning tezligi oshib boradi. Suyuqlik oqimi teshikka yaqinlashgan sari torayib boradi va bu jarayon suyuqlik teshikdan o'tgandan keyin ham inertsia kuchi ta'sirida ma'lum masofagacha davom etadi. So'ngra esa torayish to'xtab, oqim o'zgarmas ω_c kesirali oqimcha ko'rinishida harakat qiladi. Oqimchaning torayishi taxminan teshik diametriga teng masofada to'xtaydi. Torayishni hisoblash uchun, odatda siqilish koeffitsiyenti ϵ kiritiladi

$$\epsilon = \frac{\omega_c}{\omega_2} \quad (8.5)$$

Bu koeffitsiyent yuqorida aytilganlarga asosan biridan kichik va tajribalardagi olinganishicha $\epsilon = 0.61 \pm 0.64$ atrofida bo'ladi.

Biz teshikdan oqayotgan suyuqlik tezligi uchun formula chiqarishda $\zeta = 0$ deb qabul qilgan edik. Amaldagi tezlikni hisoblash uchun esa (8.1) dagi mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ζ ni hisobga olgan holda quyidagi formulani olamiz

$$g_1 = \frac{2\gamma \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma} + H \right)}{\sqrt{1 + \zeta - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}}$$

Tor teshiklar uchun esa $\frac{\omega_2}{\omega_1} \ll 1$ bo'lganda sababli $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \approx 0$ deb hisoblab, quyidagini olamiz:

$$g_1 = \frac{2\gamma \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma} + H \right)}{\sqrt{1 + \zeta}}$$

Yuqorida ko'rganimizdek, $p_1 = p_2$ hol uchun

$$g_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} \sqrt{2\gamma H}. \quad (8.6)$$

Bu formulani (8.3) bilan solishtirsak, amaliy va nazariy tezliklar o'rtasida quyidagi munosabotni olamiz

$$g_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} g_2. \quad (8.7)$$

Bundan ko'rinadiki, amaliy tezlik nazariy tezlikdan kichik ekan. Odatda, amaliy tezlikning nazariy tezlikka nisbatini tezlik koeffitsiyenti deb ataladi va φ bilan belgilanadi:

$$\varphi = \frac{v}{v_0} \quad (8.8)$$

(8.8) ni (8.7) bilan solishtirish natijasida tezlik koeffitsiyentini hisoblash uchun ushbu formulaga ega bo'lamiz:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \quad (8.9)$$

Ko'rinib turibdiki, $\varphi < 1$. Ideal suyuqliklar oqqanda esa $\zeta = 0$, $\varphi = 1$ bo'lib, oqish tezligi uchun nazariy formulani olamiz. Tajribalarning ko'rsatishicha suv uchun $\zeta \approx 0,06$, $\varphi \approx 0,97 + 0,98$ bo'ladi.

Teshikdan oqayotgan suyuqlikning amaliy sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q_0 = \varphi_0 \omega_0$$

(8.5) dan $\omega_0 = \varepsilon \omega_1$ bo'lgani uchun (8.8) ni hisobga olib, oxirgi tenglikdan ushbu munosabatni olamiz:

$$Q_0 = \varphi \varepsilon \omega_1 = \varphi \varepsilon Q_1$$

Bu so'nggi formulani (8.4) bilan solishtirib, nazariy va amaliy sarflar uchun quyidagi bog'lanishni olamiz:

$$Q_0 = \varphi \varepsilon Q_1 = m Q_1 \quad (8.10)$$

(8.10) dagi $\varphi \varepsilon$ ko'paytmani m bilan belgilaymiz va sarf koeffitsiyenti deb ataymiz

$$m = \varphi \varepsilon \quad (8.11)$$

Bunday xulosa qilib, sarf koeffitsiyenti amaliy sarfning nazariy sarfga nisbatiga teng ekanligini ko'ramiz:

$$m = \frac{Q_0}{Q_1}$$

Yuqorida φ va ε uchun keltirilgan tajriba miqdorlaridan $m \approx 0,60 + 0,63$ ekanligi ma'lum. ε , φ , m larning keltirilgan qiymatlari Reynolds sonining katta miqdorlari uchun to'g'ri. Aslini olganda bu koeffitsiyentlar Re ning funksiyasidir.

8.3. Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi

Idish devoridagi teshikka o'rnatilgan kalta quvurlar *naychalar* deb ataladi. Odatda, naychalardan sarfini ko'paytirish yoki ixcham oqimchalar olish uchun foydalaniladi. Ko'p hollarda idish devori qalin bo'lib, u parda bilan teshilganda naycha shaklida teshik paydo bo'ladi.

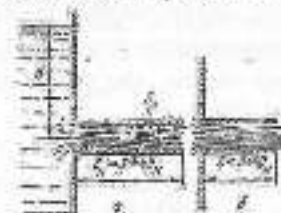
Naychalardan oqadigan suyuqlikni hisoblashda yuqorida keltirilgan tezlik va sarf formulalardan foydalanamiz, lekin ε , φ , m koeffitsiyentlarning qiymatlari boshqacha bo'ladi.

Silindrik naychalardan suyuqlik oqayotganda kirishda u devordan ajraladi va torayadi. Bu hodisa xuddi yupqa devordagi teshikdan oqish holidagi kabi bo'ladi. Lekin bu torayish to'xtab, toraygan oqimcha bilan naycha devori orasida uyurmali harakat vujudga kelganligi sababli kengayish hoshlanadi va oqim naychani butun kesimini egallab olguncha davom etadi. Natijada oqimcha naychani ko'ndalag kesimiga teng kesimda chiqib ketadi. Bu hodisa naychani uzunligi l uning diametridan 3-4 marta katta bo'lganda to'liq amalga oshadi (8.2-rasm, a).

Bu holda oqimcha diametri naycha diametriga teng bo'lgani uchun siqilish koeffitsiyenti $\varepsilon = 1$, binobarin, $m = \varphi$ bo'ladi.

Agar naycha $l_n = (3-4)D_n$ dan kalta bo'lsa, bu holda toraygan oqimcha naycha kesimigacha kengayib ulgurmaydi va oqim teshikdan oqayotgan suyuqlik kabi bo'ladi (8.2-rasm, b). Naycha uzunligining uning diametriga nisbati $\frac{l}{D_n}$ va Reynolds soni tezlik hamda sarf koeffitsiyentlariga

ta'sir ko'rsatadi. Bu ta'sirni tajribalarda ko'p tekshirilgan bo'lib, φ , m va ζ larning o'rtacha qiymatlari silindrik naychalar uchun quyidagicha bo'ladi:



8.2-rasm. Naychadan oqish.



8.3-rasm. Ichki silindrik naycha.

Yupqa devordagi teshikdan oqish holi bilan solishtirish natijasi shuni ko'rsatadiki, silindrik naychalardan oqishda oqimchaning siqilishi bo'lmagani uchun sarf ortadi, lekin qarshilik katta bo'lgani uchun tezlik kamroq bo'ladi. Ba'zi hollarda ichki silindrik naychalar qo'llanilib, uning idish devoridagi teshikka ichkari tomonidan kavsharlangan juda kichik quvur ko'rinishida bo'ladi. Bunday naychalarda oqimcha kirishdan torayishdan keyin $l_n > 2,5D_n$ ga teng uzunlikda to'liq kengayadi (8.3-rasm). Bu holda ham $\varepsilon = 1$ bo'lib, $m = \varphi = 0,70$ bo'ladi. $l_n \leq 1,5D_n$ da esa oqim to'liq kengayishiga ulgurmaydi, natijada sarf kamayib ketadi.

8.4. Turli xil naychalar

Silindrik naychalarning kamchiliklari shulardan iboratki, ularning uzunligi yetarli bo'lib, oqimcha to'liq kengayishga ulgursa (8.3-rasm, a), u holda qarshilik ortib ketadi. Agar u kaltaroq bo'lsa, oqimcha to'liq kengaymasligi (8.3-rasm, b) natijasida sarf ko'ffitsiyenti kamayib ketadi. Shuning uchun, odatda, boshqa xildagi naychalar ham qo'llaniladi. Ular konussimon kengayuvchi (8.4-rasm, a), konussimon torayuvchi (8.4-rasm, b) va konoidal (8.4-rasm, v) naychalardir.

Konussimon kengayuvchi naychalarda (diffuzorlarda) kirishda oqimcha juda ko'p torayadi, so'ngra esa tez kengaya boshlaydi va naychani butunlay to'ldiradi. Shuning uchun siqilish ko'ffitsiyenti $\varepsilon = 1$. Konuslik burchagi $\Theta > 8^\circ$ bo'lganda esa oqimcha to'liq kengaya olmaydi va natijada naycha devorlariga tegmay oqadi. Bu holda oqish yupqa devordagi teshikdan oqish holidan farq qilmaydi.

Kengayuvchi naychalarda tezlik, siqilish va sarf ko'ffitsiyentlari ($\Theta > 8^\circ$ da) konussimon kengayish burchagiga bog'liq bo'lib, ularning qiymatlari o'rtacha $m = \varphi = 0,45$ bo'ladi. Bunday naychalarda tezlik kamayib ketadi. Bunga sabab naychada oqimcha torayishi va so'ngra tez kengayishi natijasida qarshilik ko'payib ketishidir. Shunga qaramay suyuqlik sarfi ancha ko'payadi. Albatta, sarf ko'ffitsiyentidan buning aks ko'rinadi, lekin bu ko'ffitsiyent kengaygan chiqish kesimiga tegishli ekanini hisobga olsak, sarfning ko'payishi tushunarli bo'ladi. Konussimon kengayuvchi naychalarda oqimcha toraygan yerda vakuum paydo bo'ladi va u so'rish effektini vujudga keltiradi. Bu effekt silindrik naychalarda ham bo'ladi, lekin kengayuvchi naychalarda kuchli. Bunday naychalar past bosimlarda yaxshi natija beradi.

Konussimon torayuvchi naychalarda ham φ , m , ε ko'ffitsiyentlar konuslik burchagi Θ ga bog'liq. Bunday naychalarda kirishda oqimcha torayadi (bu hodisa silindrik naychalardagiga qaraganda kamroq bo'ladi) va so'ng

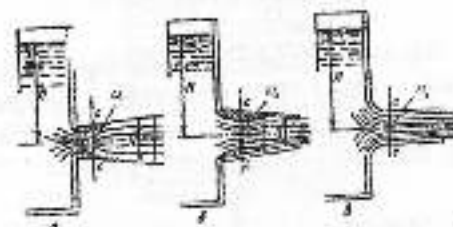
kengayadi. Naychadan chiqishda esa, uning kesimi torayishda davom etgani uchun, oqimcha uchun ikkinchi (tashqi) torayish yuz beradi. Bu naychalarda oqimchaning kengayishi kam bo'lgani uchun unga sarf bo'lgan energiya ham kam bo'ladi. Natijadan ma'lumki torayuvchi naychalarda tezlik ko'ffitsiyenti konuslik burchagi ortishi bilan ortib boradi: sarf ko'ffitsiyenti esa avval ortib borib, $\Theta = 10^\circ$ da eng katta qiymatga ($m = 0,946$) erishadi, so'ngra esa kamayadi. Shuni hisobga olish kerakki sarf ko'ffitsiyenti ortganiga qaramay torayuvchi naychalarda sarf kamayadi, shunki barcha ko'ffitsiyentlar chiqish qismiga nisbatan olingan. Bu naychalarda chiqish kesimi kirish kesimiga nisbatan toraygani uchun katta foydalar olish mumkin.

Konoidal naychalarning shakli yupqa devordagi teshikdan oqayotgan suyuqlik oqimi shakliga o'xshash bo'ladi. Shuning uchun ularda ichki torayish boshqa naychalarga qaraganda juda kichik bo'lib, qarshilik ham kam bo'ladi. Demak tezlik sarf va siqilish ko'ffitsiyentlari eng katta bo'ladi. Tajribalarning ko'rsatishicha bu holda $m = \varphi = 0,97$, $\varepsilon = 1$ bo'ladi. Naycha devorlari juda silliqlanganda esa $m = \varphi = 0,995$ gacha yetadi. Konoidal naychalar eng katta tezlik va sarf beradi, lekin ularni yasash qiyin bo'lgani uchun amalda juda kam qo'llaniladi.

Turli naychalarda suv uchun oqish ko'ffitsiyentlarining qiymatlari 8.1-jadvalda keltirilgan. Turli naychalar aktiv turbinalarning soplolarida, gidravlik turbinalarning so'ruvchi quvurlarida, fontanlarning soplolarida, transport, gidromonitorlarda turli suyuqlikni so'ruvchi va sochuvchi va boshqa turli qurilmalarda ishlatiladi.

Naychalar katta idish devoriga emas, balki quvurning uchiga o'rnatilgan bo'lsa, (8.8) va (8.10) formulalarda kirishdagi tezlik V_1 ni hisobga olish kerak bo'ladi. Bu holda sarf formulasi quyidagicha yoziladi:

$$Q = m \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \quad (8.12)$$



8.4-rasm. a - konussimon kengayuvchi naycha, b - konussimon torayuvchi naycha, v - konoidal naycha.

8.1-jadval. Har xil shakldagi naychalar va dumaloq teshik uchun siqilish, teshik va sarf ko'effitsiyentlari

№	Naychalar turi va teshiklar	Rasm	E	φ	m
1	Yupqa devordagi dumaloq teshik	77	0,64	0,97	0,62
2	Tashqi silindrik naycha	78	1	0,82	0,82
3	Ichki silindrik naycha	79	1	0,71	0,71
4	Konussimon kengayuvchi naycha $\Theta = 7^\circ$ bo'lganda	80-a	1	0,45	0,45
5	Konussimon torayuvchi naycha $\Theta = 13^\circ 24'$ bo'lganda	80-b	0,982	0,963	0,946
6	Konoidal naycha	80-c	1	0,97	0,97

bu yerda D_n va D_t - naycha va quvur diametrlari.

Ba'zi hollarda katta sarf yoki tezlik olish uchun ikki xil naychani ketma-ket qo'yiladi. Masalan, brandspoytlarda quvurning uchiga oxiri silindrik naycha bilan tugaydigan konussimon torayuvchi naycha qo'yiladi.

8.5. Suyuqliklarning teshikdan o'zgaruvchan bosimda (bosimda) oqishi

O'zgaruvchan bosimda oqish yoki idishlarning teshikdan yoki naychadan oqish hisobiga bo'shashi masalasini ko'ramiz. Idishning tubida teshik yoki naycha bo'lib, undan suyuqlikning oqish hisobiga bosim kamayib boradi. Natijada oqish tezligi ham kamayib boradi. Shuning uchun bu masala beqaror harakatga misol bo'ladi. Lekin bosim ham, tezlik ham vaqt davomida sekin o'zgargani uchun harakati qisqa vaqt oralqlarda barqaror harakatdek ko'rish mumkin. Bu holda masalani yechish uchun Bernulli tenglamasidan foydalansak bo'ladi.

Idishdagi suyuqlikning o'zgaruvchan balandligini H , shu balandlikdagi suyuqlik kesimi yuzini ω , teshikning yuzini ω_0 bilan belgilaymiz (8.5-rasm). Kichik vaqt oralig'i dt davomida idishdagi suvning sathi (teshikdan oqish hisobiga) dH ga o'zgaradi. Bu vaqt ichida oqib ketgan suyuqlik miqdori idishdagi suyuqlikning kamayishi Qdt ga teng, ya'ni

$$\omega dH = -Qdt \quad (8.13)$$

Bu yerda manfiy ishora idishdagi suyuqlikning kamayganini bildiradi. Ko'rilayotgan vaqt oralig'ida (yuqorida aytilganidek) Bernulli tenglamasidan foydalanish mumkin bo'lgani uchun sarf (8.10) formula bilan hisoblanadi. U holda (8.13) quyidagicha yoziladi

$$\omega dH = -\omega_0 \sqrt{2gH} dt,$$

oxirgi tenglikdan ko'rinadiki,

$$dt = -\frac{\omega dH}{\omega_0 \sqrt{2gH}} \quad (8.14)$$

sarf ko'effitsiyenti m ni idish bo'shashi davomida o'zgarmaydi desak, u holda idishning bo'shash vaqti quyidagicha hisoblanadi

$$t = -\frac{1}{m\omega_0 \sqrt{2g}} \int_0^H \frac{\omega dH}{\sqrt{H}} \quad (8.15)$$

Vaqt davomida suyuqlik sirti yoki idish kesimi yuzi ω ning sathi H ning o'zgarishiga qarab qanday o'zgarishi $\omega = f(H)$ ma'lum bo'lsa, u holda (8.15) tenglikning o'ng tomonidan integralini hisoblash mumkin. Prizmatik teshiklar uchun $\omega = \text{const}$ ekanligini nazarda tutib idishning ixtiyoriy sathi suyuqlikdan bo'shash vaqtini hisoblaymiz.

$$t = -\frac{\omega}{m\omega_0 \sqrt{2g}} \int_0^H \frac{dH}{\sqrt{H}}$$

yoki

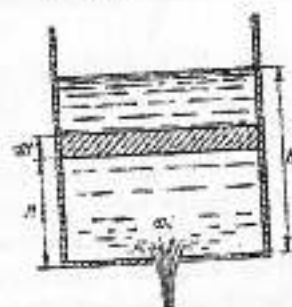
$$t = -\frac{2\omega}{m\omega_0 \sqrt{2g}} \sqrt{H} = -\frac{2\omega H}{m\omega_0 \sqrt{2gH}} \quad (8.16)$$

Idishdagi suyuqlikning dastlabki sathini H_d desak, dastlabki hajm $V_d = \omega H_d$ bo'ladi. U holda idishning dastlabki sathi H_d suyuqlikdan bo'shash vaqti bilan quyidagicha bog'lanadi

$$t = \frac{2H_d}{Q}$$

Bu formuladan ko'rinadiki, o'zgaruvchan bosimda idishning bo'shash vaqti shu bo'shagancha hajmli suyuqlikning o'zgarmas H_d bosimda oqib ketishi uchun ketgan vaqtga qaraganda ikki baravar ko'p ekan. Bunday masalalar benzin baklarning bo'shab borishini hisoblashda kerak bo'ladi. Masalan, (8.15) tenglamadan suyuqlik sathining H_1 dan H_2 gacha o'zgarishi uchun ketgan vaqtni quyidagicha hisoblash mumkin.

$$t = -\frac{2\omega}{m\omega_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (8.17)$$



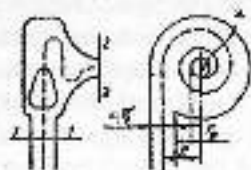
8.5-rasm. Idishning suyuqlikdan bo'shashiga doir chizma.

Shuningdek, o'xshash yopiq idishlarning kichik diametrli teshiklaridan oqishi hisobiga bo'shashi masalasini ham ko'rish mumkin. Suyuqlikning bosimi ko'p idishdan bosimi kam idishga o'tishi masalasini ham shunday ko'rish mumkin.

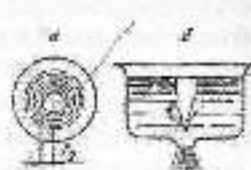
8.6. Oqimcha texnikasi haqida tushuncha

Yuqorida aytib o'tilgandek, oqimchali harakatlar (suyuqliklarning teshik va naychalardan oqishi) texnikaning turli sohalarida qo'llaniladi. Bularga misol sifatida forsunkalar, bosimni boshqaruvchi apparatlar, tashqi zarhani susaytiruvchi qurilmalar, soplolar va boshqalar ko'rish mumkin. Ulardan ba'zilar haqida qisqacha to'xtalib o'tamiz.

Forsunkalar suyuqlikni chaqitish, ya'ni suyuqlik atmosferaga (yoki yuqori bosimli gaz bilan to'la fazoga) oqib chiqishi bilan uning oqimchasining mayda zarrachalarga parchalanib ketishini vujudga keltirish uchun ishlatiladigan maxsus naychalardir. Bunday forsunkalar yonish kameralariga yoqilg'ini yuqorida aytilgan usul bilan yetkazib berib, u yerda uning yonishiga yordam beradi. Ularning ishlash prinsipi quyidagicha: avval suyuqlikning uyurma harakati vujudga keltiriladi, so'ngra esa hosil bo'lgan oqim toraytiriladi (8.6-rasm).



8.6-rasm. Forsunka kesimining sxemasi.



8.7-rasm. Forsunka uyurmali oqimchaning hosil bo'lish sxemasi.

Suyuqlik forsunka ichiga urinma bo'yicha kiritilishi natijasida uning harakat miqdori momenti deyarli o'zgarmaydi, ammo oqimning torayishi natijasida aylanma tezlik ortib borib, markazdan qochma kuchning ortishiga sabab bo'ladi. Bu kuch suyuqlikni chiqishda devorga shunday siqadiki, natijada uning yupqa qavatı vujudga kelib, forsunkadan chiqishda mayda tomchilarga aylanib ketadi. Bu harakat vaqtida forsunkaning o'qi bo'yicha sirdagi bosim bir atmosferaga teng havo (gaz) uyurmasi vujudga keladi (8.7-rasm,a). Bu uyurma idishlarning bo'shashidagi uyurma varonkasi (8.7-rasm,b) ga o'xshaydi, lekin forsunkada tezkorroq bo'ladi. Forsunkada suyuqlik sarfi formulasi (8.10) quyidagicha yoziladi:

$$Q = m\omega_1 \sqrt{2g \frac{p}{\gamma}}$$

bu yerda p - forsunka ichida suyuqlikning bosimi m - sarf koeffitsiyenti, u aniq formula bilan topiladi. ω_1 forsunkadan chiqishdagi kesim yuzi. Prof. G.N. Abramovich yaratgan nazariya bo'yicha sarf koeffitsiyenti m forsunkaning o'lchamlari va shakliga bog'liq bo'lib, quyidagicha hisoblanadi:

$$m = \frac{\epsilon}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \epsilon^2}{1 - \epsilon^2}}} \quad (8.18)$$

$$A = \frac{\omega_2 R}{\omega_1 r_0}$$

bu yerda ω_1 - forsunkaga kirishdagi kesim yuzi R - kirishdagi oqimning aylanish radiusi r_0 - chiqishdagi kesim radiusi.

Oqimchaning siqilish ϵ va tezlik koeffitsiyentlari ϕ uchun quyidagi formulalari chiqarilgan:

$$\epsilon = 1 - \frac{r_0^2 \gamma}{r_1^2 \gamma_0} \quad (8.19)$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \epsilon^2}{1 - \epsilon^2}}}$$

bu yerda r_1 - havo uyurmasining tashqi radiusi.



8.8-rasm. Drossellarni tushuntirishga oid chizma.

Shunday qilib, prof. G.N. Abramovich nazariyasi bo'yicha sarf Q va forsunkadan chiqishdagi o'q bo'yicha tezlik V quyidagicha hisoblanadi

$$Q = \frac{\omega_2}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \epsilon^2}{1 - \epsilon^2}}} \sqrt{2gH} \quad (8.20)$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \epsilon^2}{1 - \epsilon^2}}} \sqrt{2gH} \quad (8.21)$$

Suyuqlik reaktiv dvigatelluridagi forsunkalardan uyurma harakat suyuqlikni urinma bo'yicha keltirish o'rniga, vintli uyurma hosil qiluvchi qurilma yordamida vujudga keltiriladi.

Drossellar va klapanlar (gidrouzatmalarda) bosim ma'lum chegaradan ortib ketganda uni kamaytirish uchun ishlatiladi. Bularning turlari juda ko'p bo'lib, ular to'g'risida maxsus bo'limlarda to'xtalib o'tiladi. Biz quyidagi drosselni soddalashtirilgan shaklda keltiramiz (8.8-rasm). Bu holda bosimlari p_1 va p_2 bo'lgan bo'limlar teshik (yoki jikler deb ataluvchi tor bo'g'izcha) orqali tutashtirilgan bo'lib, birinchi bo'lmada bosim oshib ketganida suyuqlik ikkinchi bo'lmaga oqib o'tadi. Bu janyon ikkala bo'lmada bosim tenglashguncha davom etadi. Bunday qurilmalarda suyuqlik tezligi va sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q = \varphi \sqrt{2g \Delta p / \gamma} = \varphi \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad (8.22)$$

$$Q = \omega \omega_1 \sqrt{2g \Delta p / \gamma} = \omega \omega_1 \sqrt{H_1 - H_2} \quad (8.23)$$

bu yerda $\Delta p = p_1 - p_2$; ω_1 - teshikning kesim yuzi; H_1, H_2 - birinchi va ikkinchi kamerulardagi bosimlar.

Birinchi bo'lmadan ikkinchi bo'lmaga suyuqlikning oqib o'tish vaqti quyidagicha hisoblanishi mumkin:

$$t = \frac{2\omega \omega_1}{\omega_1(\omega_1 + \omega_2)} \left(\sqrt{\frac{p_1}{\gamma}} - \sqrt{\frac{p_2}{\gamma}} \right) = \frac{2\omega \omega_2}{\omega_2(\omega_1 + \omega_2)} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (8.24)$$

bu yerda ω_1, ω_2 - birinchi va ikkinchi bo'lmalarning ko'ndalang yuzi; ω_1 va ω_2 teng bo'lganda $S_1 = S_2 = S$ deb belgilab, (8.24) ni ushbu ko'rinishga keltirish mumkin:

$$t = \frac{\omega}{\omega \omega_1} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})$$

(8.22), (8.23) va (8.24) formulalar gidravlikaga doir adabiyotlarda idishdagi suyuqlikning cho'ktirilgan teshik orqali oqib o'tish masalasi sifatida keltiriladi.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

Masala: Yuqoridagi idishdan tushayotgan suv (sarfi $Q = 0.6$ l/s), idish tubidagi teshik orqali ($d = 30 - 15$ mm) pastki idishga tushmoqda va pastki idish tubidagi teshik orqali ($d = 25$ mm) atmosferaga oqib chiqmoqda. Idishlardagi suv naporini (damlarini) aniqlang.

Yechimi: Idishlardagi suv sathi o'zgarmasligini inobatga olib, har bir idishlardan tushayotgan suv sarfi bir xil bo'lishini hisobga olib, idishlardagi suv damlarini quyidagicha aniqlaymiz:

$$Q = \mu \omega_1 \sqrt{2gH_1};$$

$$Q = \mu \omega_2 \sqrt{2gH_2};$$

bu yerdan

$$H_1 = \frac{Q^2}{(\mu \omega_1)^2 2g} = 2.13 \text{ m};$$

$$H_2 = \frac{Q^2}{(\mu \omega_2)^2 2g} = 0.36 \text{ m};$$

Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Suyuqlik diametri $d = 10$ mm teshik orqali $H = 3$ m dam (napor) ostida atmosferaga oqib chiqmoqda. Teshikdan oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang, agar siqilish, tezlik va qarshilik koeffitsiyentlari quyidagicha bo'lsa: $\epsilon = 0.62$; $\varphi = 0.97$; $\xi = 0.06$.

2. Sistemadan diametri $d = 100$ mm bo'lgan teshikdan atmosferaga oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang. Agar sistema diametri $D = 250$ mm, sistemaga o'rnatilgan manometning ko'rsatishi $R_m = 0.2$ MPa va manometrning o'rnatish balandligi $h = 1.3$ m bo'lsa.

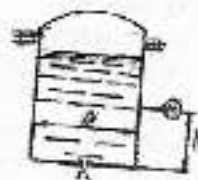
Agar teshikka xuddi shu diametrdagi naycha ulansa suyuqlik sarfi qanday o'zgaradi? Teshikning qarshilik koeffitsiyenti $\xi = 0.04$.

3. To'g'on devoriga o'rnatilgan silindrik naycha orqali $Q = 2.5$ m³/s sarfini pastki byefga o'tkazish kerak. Byeflardagi suyuqliklar sathining farqi $H = 10$ m, naychani sarf koeffitsiyenti $\mu = 0.82$. Naycha diametrini aniqlang.

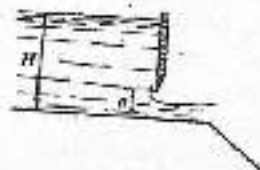
4. Suv yuqori rezervuardan pastki rezervuarga diametrlari $d_1 = 150$ mm va $d_2 = 200$ mm li tesyik va diffuzor orqali oqib o'tmoqda. Teshik va diffuzorning qarshilik koeffitsiyentlari: $\xi_1 = 0.06$; $\xi_2 = 0.03$.

Agar 1-1 kesimdagi absolyut bosim nolga teng bo'lib, $H_2 = 1.5$ m bo'lsa, yuqori rezervuardagi suv sathining balandligi - H_1 nimaga teng bo'ladi (8.9-rasm)?

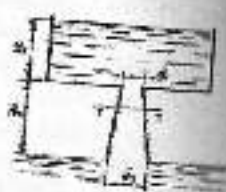
5. Eni $b = 2.6$ m li tarnovdagi darvoza tagidan oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang. Darvozaning ko'tarilish balandligi $a = 0.7$ m yuqori byefdagi suv dami (napori) $H = 6.0$ m. Siqilish va tezlik koeffitsiyentlari: $\epsilon = 0.67$; $\varphi = 0.97$ (8.10-rasm).



8.9 - rasm.



8.10 - rasm.



8.11 - rasm.

VIII bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o'zgaruvchi bosimda oqishi.
2. Siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari.
3. Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi.
4. Suyuqliklarning teshikdan o'zgaruvchan bosimda oqishi.
5. Oqimcha texnikasi haqida tushuncha.

IX BOB. QUVURLARNI GIDRAVLIK HISOBLASH

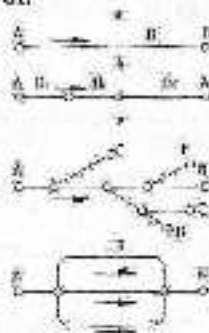
Quvurlarning geometrik o'lchamlari (diametri, uzunligi) ni ma'lum natija moslab hisoblash yoki berilgan bosimda o'lchamlari berilgan quvurlarning sarflarini hisoblash quvurlarni gidravlik hisoblash deyiladi.

Gidravlik hisoblash vaqtida quvurlarning uzunligi yoki hisoblashning gidravlik shartlariga qarab, ular ikki turga bo'linadi: uzun va qisqa quvurlar.

Uzunda uzun bo'lmagan va mahalliy qarshiliklari sezilarli bo'lib, umumiy qarshilikning kamida 5 – 10% ni tashkil etadigan quvurlar *qisqa quvurlar* deb ataladi. Bularga misol qilib, nasoslarning so'rish quvurini, henzobekdan kashyutorga benzin o'tkazuvchi quvuru avtotraktor va boshqa quvurlar, gidroturbinaning moy o'tkazuvchi quvurlarini, gidrouzatmalardagi tutashiruvchi quvurlar va hokazolarni keltirish mumkin.

Aneha uzoq masofaga cho'zilgan va gidravlik qarshiliklarda asosiy qismini ishqalanish qarshiligi tashkil qilgan quvurlar uzun quvurlar deb ataladi. Bunday quvurlarda mahalliy qarshiliklar alohida hisoblanmaydi va ishqalanish qarshiligining 5 – 10% iga teng deb qabul qilinadi. Bularga vodoprovod quvurlari, neft va gazlarni tarqatuvchi quvurlar va boshqalar misol bo'ladi.

Quvurlar ishlash sxemasiga qarab ikki turga bo'linadi *sodda quvurlar* (9.1-rasm, a, b); *murakkab quvurlar* (9.1-rasm v, g). Sodda quvurlar hech qanday tarmoqlarga ega bo'lmagan quvurlardir. Murakkab quvurlar esa bir necha tarmoqlarga ega bo'lgan quvurlardir. Bundan tashqari, quvurlar tupik va yopiq quvurlarga ajraladi. Bir yo'nalishda suyuqlik oqadigan quvurlar tupik quvurlar deyiladi. Suyuqlikning biror va undan ortiq yo'nalish bo'yicha berish mumkin bo'lgan quvurlar yopiq quvurlar deyiladi. Yopiq quvurlar ishonchli bo'lib, uning ayrim qismlari buzilib, tamirlash davomida ham suv ta'minoti to'xtamaydi.



9.1-rasm. Quvurlarni klassifikatsiyalashga doir chizma.

Yuqorida aytilganlardan tashqari tranzit sarfli quvurlar ham mavjud bo'lib, ularda suyuqlik yo'l bo'yicha o'zgarmay qolishi yoki taqsimlanib borishi mumkin.

9.1. Sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi

Quvurlarni hisoblashda biz yuqorida keltirilgan ishqalanish va mahalliy qarshiliklar uchun chiqarilgan formulalardan foydalanamiz. Shuning uchun bu suyuqlik quvurda qaysi tartibda oqishini ham bilishimiz kerak.

Avvalo o'zgarmas diametrli sodda quvur olamiz. Bunday quvur ketma-ket joylashgan bir qancha to'g'ri quvur bo'laklaridan tashkil topgan deb qarash mumkin. (9.2-rasm). Bularda bosimning pasayishini barcha qarshiliklarning yig'indisi ko'rinishida hisoblaymiz

$$H = H_1 + H_{m1} + H_2 + H_{m2} + \dots + H_n + H_{mn}. \quad (9.1)$$

Yuqorida keltirilgan formuladan foydalanib quyidagi

$$H = \lambda \frac{l_1}{D} \frac{v^2}{2g} + \zeta_1 \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{D} \frac{v^2}{2g} + \zeta_2 \frac{v^2}{2g} + \dots + \lambda \frac{l_n}{D} \frac{v^2}{2g} + \zeta_n \frac{v^2}{2g}$$

munosabatni chiqaramiz. Bu formula bo'yicha bosimning pasayishini hisoblash murakkab va ko'p vaqtni oladi, chunki quvur juda ko'p bo'laklarga ajratilgan bo'lishi mumkin. Oxirgi munosabatda tezlikni sarf orqali ifodalab $(v = \frac{4Q}{\pi D^2})$ va o'xshash hadlarni guruhlab, quyidagini olamiz:

$$H = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} + (\zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n) \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{\sum l_i}{D} \frac{v^2}{2g} + \sum \zeta_i \frac{v^2}{2g} + \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i Q^2 + \frac{8}{g\pi^2 D^5} \sum \zeta_i Q^2$$

Yoki

$$H = \left[\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i + \frac{8}{g\pi^2 D^5} \sum \zeta_i \right] Q^2$$

Qavs ichidagi miqdorni α bilan belgilasak, u holda

$$H = \alpha Q^2. \quad (9.2)$$

O'lchov birligi $s^3 m^5$ bo'lgan α miqdor quvurning solishtirma qarshiligi deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i + \frac{8}{g\pi^2 D^5} \sum \zeta_i. \quad (9.3)$$



9.2-rasm. Sodda quvurning sxemasi.

Ushbu miqdor quvurning uzunligi, diametri, mahalliy qarshiliklar koefitsientlariga bog'liq bo'lib, kvadrat qarshilik sohasida o'zgarmas bo'ladi. (9.3) dagi birinchi hadning yig'indi oldidagi miqdorini

$$\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} = A_1 \frac{v^2}{m^2}$$

ko'rinishda, ikkinchi hadning yig'indi oldidagi miqdorni

$$\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} = A_m \frac{v^2}{m^2}$$

ko'rinishda belgilaymiz va ularni o'zaro quyidagicha aytamiz A_1 – solishtirma ishqalanish qarshiligi (ya'ni 1 m quvurning ishqalanish qarshiligi) va A_m – solishtirma mahalliy qarshilik (quvurning shakli o'zgarigan qismning $\zeta = 1$ bo'lgandagi qarshiligi).

U holda

$$\alpha = A_1 \sum l_i + A_m \sum \zeta_i$$

Bu yerda A_1 va A_m – umumlashgan parametrlar bo'lib, quvurlarni hisoblashda maxsus jadvallardan olinadi.

Ba'zi umumlashgan parametrlar bir oz boshqacharoq ko'rinishda olinadi. Bu holda mahalliy qarshilikni ekvivalent uzunlik bilan almashirsak

$$\Pi = \lambda \frac{l_{\text{eq}}}{D} \frac{v^2}{2g} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} (l + l_{\text{eq}}) Q^2$$

hosil bo'ladi. Oxirgi tenglikka

$$A = \sqrt{\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5}}$$

belgilashni kiritamiz va uni quvurning sarf xarakteristikasi deb ataymiz. U holda

$$H = \frac{l + l_{\text{eq}}}{A^2} Q^2 \quad (9.4)$$

Bu belgilashdan ko'rinib turibdiki

$$A^2 = \frac{1}{\alpha}$$

A^2 ning turli hollardagi miqdori ham A_1 va A_m kabi jadvallardan olinadi.

Yuqorida ko'rganimizdek $\frac{H}{Q^2}$ ekanligini hisobga olsak, (9.4) dan prof. B.A.Buxmetov formulasini olamiz

$$Q = A \sqrt{H}$$

Uzun quvurlar uchun bosimning pasayishi osonroq hisoblanadi va ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$H = A_1 Q^2 \text{ yoki } H = \frac{1}{A^2} Q^2$$

Ko'p hollarda quvurlarni hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$Q = K \sqrt{H} \quad (9.3)$$

va K ni sarf koeffitsiyenti deb ataladi.

(9.5) va (9.4) bilan solishtirsak, sarf koeffitsiyenti uchun munosabatni olamiz:

$$K = \frac{A}{\sqrt{L + l_{\text{eq}}}} \quad (9.6)$$

uzun quvurlar uchun esa

$$K = \frac{A}{\sqrt{L}} \quad (9.7)$$

(9.5) formulani boshqacha ham yozish mumkin:

$$H = \frac{1}{K^2} Q^2 \quad (9.8)$$

bu holda $\frac{1}{K^2} = \alpha$ bo'ladi. Suyuqlik kvadratik qonunga bo'ysunganda λ va l_{eq}

Reynolds soniga bog'liq bo'lmagan uchun yuqorida aytganimizdek K^2 va A_v lar uchun quvurning diametri va g'adir-budirligiga qarab jadval ko'rinishida ifodalanadi, A_v esa bu jadvalda faqat diametrga bog'liq.

Laminar soha uchun yuqoridagi formulalardagi quvurning qarshiligi α va qarshilik koeffitsiyenti K (9.3) formula yordamida hisoblab topiladi. Bunda λ Puaizeyl formulasi bo'yicha hisoblanadi:

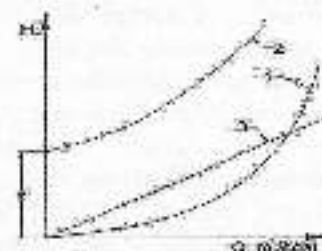
$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

9.1-jadval. Quvurlarni hisoblash uchun umumlashgan parametrlar (kvadratik qarshilik qonuni uchun)

Quvurning ichki diametri, D, mm	Quvurning absolyut g'adir-budirligi						$A_v \frac{c^2}{m^2}$
	$\Delta = 0,2 \text{ mm}$		$\Delta = 0,5 \text{ mm}$		$\Delta = 1,0 \text{ mm}$		
	$K^2 \frac{m^2}{c^2}$	$A_v \frac{c^2}{m^2}$	$K^2 \frac{m^2}{c^2}$	$A_v \frac{c^2}{m^2}$	$K^2 \frac{m^2}{c^2}$	$A_v \frac{c^2}{m^2}$	
50	0,000132	7570	0,000100	10000	0,0000776	12900	13200
75	0,00113	886	0,000863	1160	0,000686	1460	2610
100	0,00516	194	0,00397	252	0,00319	313	826
125	0,0160	62,6	0,0125	800	0,0105	95,2	338
150	0,0434	23,1	0,0341	29,3	0,0276	36,2	163
200	0,197	5,08	0,155	6,45	0,128	7,81	51,5
250	0,643	1,58	0,504	1,98	0,416	2,40	21,1
300	1,65	0,607	1,41	0,709	1,09	0,917	10,2
400	7,41	0,135	5,98	0,167	4,97	0,201	3,23
500	23,7	0,0422	19,3	0,0518	16,1	0,0620	1,32

Kvadrategacha bo'lgan sohada esa λ (silliqlik quvurlar uchun) Blazius formulasini bo'yicha hisoblanadi:

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



9.3-rasm. Quvurning xarakteristikasi.

Quvurlarni hisoblashni osonlashtirish uchun (9.2) yoki (9.5) formula bo'yicha jadval tuzib olish mumkin. U holda bosim pasayishining turli qiymatlariga tegishli sarf miqdorlarini shu jadvaldan olish mumkin bo'ladi.

(9.2) tenglama (9.5) bilan birgalikda sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi deyiladi. Bu tenglama bosim va sarf orasidagi bog'lanishni grafik ko'rinishda ifodalashga imkon beradi. Ko'rinib turibdiki, bu grafik koordinatalar boshidan o'tuvchi kvadratik parabola ko'rinishida ifodalanadi (9.3-rasm, 1 grafik). Agar quvurning hisoblash tekisligidan qancha balandda joylashgan H_2 ni hisobga olsak, u holda H va Q o'rtasidagi munosabat koordinatalar boshidan H_2 balandlikda joylashadi (9.3-rasm, 2 grafik). U holda umumiy bosim H va H_2 ning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$H_1 = H_2 + H = H_2 + \alpha Q^2 \quad (9.9)$$

Harakat laminar bo'lsa, u holda H grafigi to'g'ri chiziqqa aylanadi (8.14-rasm, 3 grafik).

$H - Q$ grafigi yordamida berilgan bosim uchun sarfni topish mumkin. Uning uchidan abstsissa o'qiga parallel chiziq o'tkazamiz. Bu chiziqning xarakteristikasi bilan kesishgan nuqtasidan abstsissa o'qiga tushirilgan perpendikulyar undan quvurda berilgan bosimda sarfning miqdoriga to'g'ri keladigan kesma ajratadi. Agar quvurdan o'tishi kerak bo'lgan sarf ma'lum bo'lib, bosimni topish kerak bo'lsa, sarfni topish uchun qo'llangan usulni teskari tartibda bajaramiz.

9.2. Quvurning iqtisodiy tejamli diametrini topish haqida tushuncha

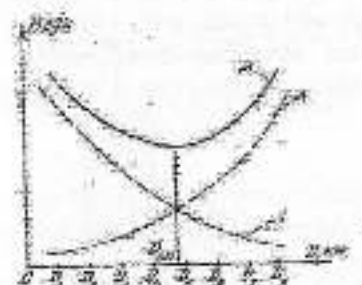
Quvurlar sistemasini loyihalashda berilgan uzunlikdagi quvurda suyuqlikni oqizib, berilgan sarfni olish uchun kerak bo'lgan bosimni hisoblash masalasi muhim o'rin tutadi. Quvurning asosiy tenglamasida ko'rinadiki, berilgan uzunlik va sarfga diametr ortishi bilan qarshilik koeffitsiyenti kamayib boradi, demak, shu sarfni ta'minlovchi bosim ham kamayadi. Bu o'z navbatida suvni quvurdan oqizish uchun sarf bo'ladigan energiyaning kamayishiga olib keladi, ya'ni suyuqlikni quvurdan haydovchi nasos kamroq elektroenergiyasi sarflaydi. Ikkinchidan, quvur diametrining ortishi unga sarf bo'ladigan kapital mablag'ning ortishiga olib keladi (diametri katta quvurga ko'proq metal sarf bo'ladi). Shunday qilib, quvurning eng qulay diametrini tanlash masalasi texnik-iqtisodiy hisoblash, ya'ni quvurlar sistemasini yuritishga sarf bo'ladigan mablag' (quvurlar, nasos stansiyasi va h.) ning qiymati va undan foydalanishdagi harajatlarni (elektr energiyasi, odamlar xizmati va h.) qiymatini solishtirish yo'li bilan hal qilinadi.

Bu masala xususiy holda shunday hal qilinadi: quvurlarning standart diametrlarini hisobga olgan holda diametrning turli variantlari uchun butun sistemaning (uning o'z harajatini o'zi qoplashini vaqtini nazarga olib) bir yillik qiymati (amortizatsiyaga bo'ladigan harajat) A hisoblanadi. So'ngra quvur diametrining har bir varianti uchun uni foydalanishiga sarf bo'lgan harajat M ni hisoblab chiqiladi, bunga elektr energiya, odamlarni ishlatish, doimiy harajatlarni va hokazolar kiradi. Quvurning yillik harajati M amortizatsiya A ekspluatatsiya E harajatlarning yig'indisiga teng. Quvurning yillik harajatining minimal qiymatiga to'g'ri kelgan diametri eng tejamli diametr D_{op} bo'ladi.

9.15-rasmda $A=f_1(D)$, $E=f_2(D)$ va $M=f_3(D)$ larning grafigini chizish yo'li bilan D_{op} ni topish yo'li ko'rsatilgan. Agar D_{op} ikki standart diametri orasiga to'g'ri kelib qolsa, tegishli diametr uchun D_{op} ga eng yaqin standart diametr (iloji bo'lsa ikki diametrning kichigi) olinadi. (9.4-rasmda eng tejamli diametr uchun D_5 ni olish kerak). Quvurning diametri D topilgandan keyin, Q va l ma'lum bo'lgan holda bosimni topish qiyin emas. Yuqorida ko'rsatilgan usul juda murakkab va qiyin bo'lgani uchun undan odatda katta va murakkab quvur sistemalarini loyihalashda foydalaniladi. Odatdagi hisoblashlarda ko'rilayotgan quvurga o'xshash quvurlar uchun juda ko'p texnik-iqtisodiy hisoblar davomida aniqlangan optimal tezlik v_{op} yoki optimal qiyalik l_{op} ning qiymatini berish yo'li bilan

aniqlanadi. Suyuqlikning sarfini Q va V ma'lumi bo'lgan holda diametrini topish qiyin emas.

$$Q = v_{op} \frac{\pi D^2}{4} \quad (9.10)$$



9.4-rasm. Tejamli qulay diametrni hisoblashga oid chizma.

bundan

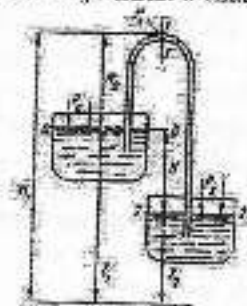
$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{op}}} \quad (9.11)$$

Ba'zi hollarda taqribiy hisoblash uchun sodda formulardan ham foydalanish mumkin. Quvurdagi bosimning katta-kichikligiga qarab turli materiallardan qilingan quvurlar ishlatish mumkin. Masalan, bosim 1 MPa/m² gacha bo'lganda vodoprovod quvurlari uchun cho'yan quvurlar, katta bosimlar uchun esa po'lat quvurlardan foydalaniladi. Bundan shuni hisobga olish kerakki, GOST da cho'yan quvur uchun ichki diametr, po'lat quvur uchun esa tashqi diametr qabul qilingan.

9.3. Sifon quvur

Bir qismi suyuqlik bilan ta'minlovchi idishdan yuqorida joylashgan sodda quvur sifon quvur deb ataladi (9.5-rasm). Sifonni sodalashtirib ikki (ta'minlovchi va qabul qiluvchi) idishlarni tutashtiruvchi U ko'rinishdagi quvur sifatida tasvirlash mumkin. Bu holda uning egilgan qismi idishlardagi suyuqlik sathlaridan H balandlikda bo'lib, undagi suyuqlik idishdagi suyuqliklar sathlarining farqi H hisobiga oqib turadi. Shuni aytish keraki, suyuqlik sifonda avval birinchi idish sathidan H balandlikka ko'tarilib, so'ngra ikkinchi idishga tushadi. Bunday quvurning o'ziga xos xususiyati shundaki, unda bosim ko'tariluvchi qismida ham, pastga tushuvchi qismida ham atmosfera bosimidan pastdir. Sifon quvurlardan asosan neft mahsulotlarini sistemalardan quyib olish, suv sig'imlarini bo'shatish,

do'nglik yerlarda vodoprovud o'tkazish va hokazolardan foydalaniladi. Sanoat ta'minotida ba'zan maxsus sifonlar ishlatiladi. Sifon ishlay boshlashi uchun avval uni suyuqlik bilan to'ldirish kerak. Sifon sifatida kichik o'lchamli shlanglar ishlatilsa, uni to'ldirish oson bo'lib, bu suyuqlikka botirish yoki pastki uchidan havoni so'rib olish yo'li bilan amalga oshiriladi. Agar sifon mahkamlangan metall quvurdan iborat bo'lsa, uning yuqori nuqtasida havoni so'rib olish uchun maxsus jo'mrak o'rnatiladi.



9.5- rasm. Sifon quvur.

Havoni nasoslar yoki ejetorlar yordamida so'rib olish mumkin. Sifonlarni hisoblash boshqa quvurlarni hisoblashdan farq qilmaydi. Masalan, sifonning ikkita kesimi uchun Bernuli tenglamasini yoziladi. Bu kesmalar 0-0 va 2-2 bo'lsa, u holda

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{Q^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{Q^2}{2g} + h_{\Sigma} \quad (9.12)$$

bo'ladi. $p_1 = p_2 = p_{\text{atm}}$, va $Q_1 = Q_2 = Q$ deb hisoblasak, bu tenglama quyidagicha yoziladi:

$$z_1 = z_2 + h_{\Sigma} \quad (9.13)$$

yoki $z_1 - z_2 = H$ ekanligini nazarga olib, h_{Σ} qarshilikni hisoblash uchun esa ishqalanish va mahalliy qarshiliklar formulasidan foydalanic, oxirgi tenglamani ushbu ko'rinishga keltiramiz:

$$H = \alpha Q^2 \quad (9.14)$$

Shunday qilib, sifonlarda sarf oddiy quvurlardagidek qarshilik va sathlar farqi orqali aniqlanadi. Uning ko'tarilishi balandligi H_0 esa sarfga ta'sir qilmaydi. Lekin bu qonun H_0 ning ma'lum chegarasigacha bo'ladi. H_0 ning ortib borishi bilan sifonning yuqoridagi 1-1 kesimida absolyut bosim p_1 kamayib boradi. Bu bosim to'yingan bug' bosimiga tenglashishi bilan kavitatsiya boshlanadi. Bu avval sarfning kamayishiga so'ngra, bug'larning ko'planishiga (bug' tiqini hosil bo'lishiga) va suyuqlik oqimining

to'xtashiga olib keladi. Shuning uchun sifonlarni hisoblashda va qurishda uning yuqori nuqtasidagi bosim p_1 juda kamayib ketmasligini nazarda tutish kerak. Agar sifonning sarfi, uning o'lchamlari ma'lum bo'lsa, absolyut bosim p_1 ni hisoblash mumkin. Buning uchun 0-0 va 1-1 kesimlar uchun Bernuli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{Q^2}{2g} = H_1 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{Q^2}{2g} + h_{\Sigma} \quad (9.15)$$

Agar tezliklar kichikligi uchun ularni nolga tenglasak:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} + H_1 + h_{\Sigma} \quad (9.16)$$

bo'ladi. Bosimning mumkin bo'lgan minimum qiymati ma'lum bo'lsa, p_1 ni unga tenglashtirib oxirgi tenglamadan H_1 ni oshirish uchun yana bir usulni qo'llash mumkin. Buning uchun sifonning pastga ketgan uchida mahalliy qarshiliklar (eshikcha va h.) yordamida umumiy qarshilikni oshirish kerak. Bu holda, albatta, sarf kamayadi.

9.4. Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash

Ketma-ket va parallel ulangan quvurlarni hisoblash sodda quvurlarni hisoblashga qaraganda murakkab bo'lib, u qaysi tartibda ulanganiga bog'liq. Shuning uchun bu ikki ulash usulini alohida ko'rib chiqamiz.

Ketma-ket ulash. Bir necha har xil diametrli quvurlardan tashkil topgan quvurni ko'ramiz. Ular ketma-ket ulangan bo'lib, qarshiliklari $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$, uzunliklari $L_1, L_2, \dots, L_n$ bo'lsin (9.17-rasm).

Bu quvurlarning har birida sarflar teng bo'lishi qo'llaniladigan tenglamasidan ko'rinadi. U holda quvurlardagi bosimning kamayishi (9.2) ga asosan aniqlanadi.

$$H_1 = \alpha_1 Q^2$$

$$H_2 = \alpha_2 Q^2$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$H_n = \alpha_n Q^2$$

Ko'rilayotgan quvurda esa qarshiliklarni qo'shish prinsipiga asosan quyidagicha hisoblanadi.

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_n = (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) Q^2 \quad (9.17)$$

Shunday qilib, quvurlar ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik xususiy qarshiliklar yig'indisidan iborat.

$$\alpha = \sum \alpha_i \quad (9.18)$$

Bu ikki (9.17) va (9.18) tenglama quvurlarni ketma-ket ulashda xarakteristika tuzish uchun asos bo'ladi.

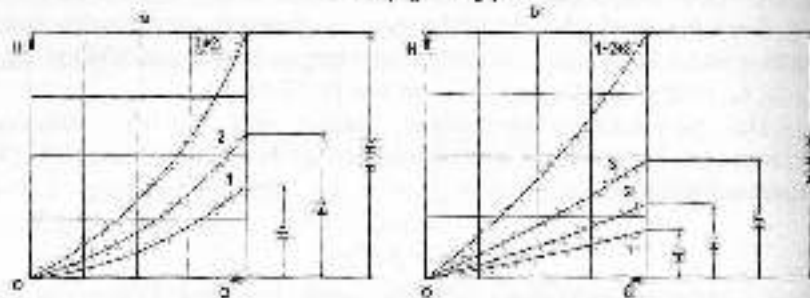
Avval ketma-ket ulangan ikkita quvurni ko'ramiz. Bu quvurlarning xarakteristikalarini 9.6-rasm, a da 1 va 2 grafiklar orqali ifodalangan. Ikkita quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (9.17) tenglamaga asosan bir xil sarfda ikki quvurdagi bosim kamayishlarini qo'shamiz, ya'ni bir xil abstsissalarda ikkala egri chiziqlarning ordinatalarini qo'shamiz.

Ketma-ket ulangan uchta quvurning umumiy xarakteristikasini tuzish uchun avval 1,2,3 quvurlarning xarakteristikasini tuzib olamiz (9.18-rasm, b). So'ngra bir xil abstsissada ularning ordinatalarini qo'shib, bir chiziq bilan tutashtiramiz n ta ketma-ket ulangan quvurning umumiy xarakteristikasini tuzish ham shu usulda bajariladi. Ko'rilayotgan holda kirishdagi va chiqishdagi tezlik bosimlari har xil bo'lgani sababli, quvur uchun talab qilinadigan bosim formulasida (9.9) dan farqli ravishda, kirishdagi va chiqishdagi tezlik dandalarining farqi qatnashadi:

$$H = z_A - z_B + \frac{\alpha_A Q_A^2 - \alpha_B Q_B^2}{2g} = \sum_{i=1}^n H_i + \frac{P_A}{\gamma} - H_B + \alpha Q^2 + \alpha Q^2 \quad (9.19)$$

bu yerda

$$\alpha = \frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_A}{\omega_A^2} - \frac{\alpha_B}{\omega_B^2} \right)$$



9.6 - rasm. Ketma-ket ulangan quvurlarning xarakteristikasi.

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

$$H_B = z_A - z_B + \frac{P_B}{\gamma}$$

ω_A, ω_B - kirish va chiqishdagi kesim yuzalari.

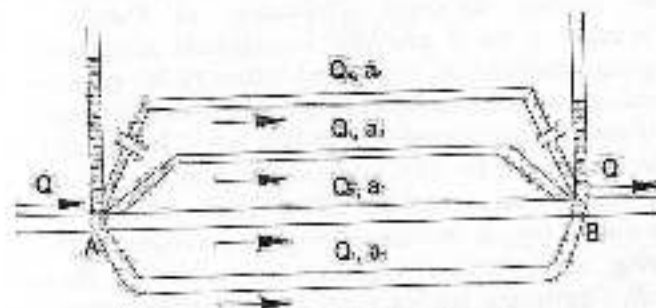
Parallel ulash. Endi bir qancha parallel ulangan sodda quvurlardan tashkil topgan murakkab quvurni ko'ramiz (9.7-rasm). Sodda quvurlarning sartilari $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$, qarshiliklari $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ bo'lsin. Umumiy

qamadan ko'rinib turibdiki, murakkab quvurning sarfi sodda quvurlar sartilari yig'indisiga teng.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \sum Q_i \quad (9.20)$$

Har bir sodda quvurdagi bosimning kamayishi ham, murakkab quvurdagi bosimning kamayishi ham A va B nuqtalardagi to'la bosimlarning ayirmasiga teng:

$$H_A - H_B = H_1 - H_2 = H_3 = \dots = H_n = H. \quad (9.21)$$



9.7-rasm. Quvurlarni parallel ulash.

Har bir quvurdagi bosimning kamayishi (9.2) ga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$H_1 = \alpha_1 Q_1^2$$

$$H_2 = \alpha_2 Q_2^2$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$\dots$$

$$H_n = \alpha_n Q_n^2$$

Bulardan sartilarni topib, (9.19) ga qo'yamiz:

$$Q = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{H_3}}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{\sqrt{H_n}}{\sqrt{\alpha_n}} \quad (9.22)$$

va (9.19) dan foydalanib, quyidagi munosabatni olamiz:

$$Q = \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right) \sqrt{H}. \quad (9.23)$$

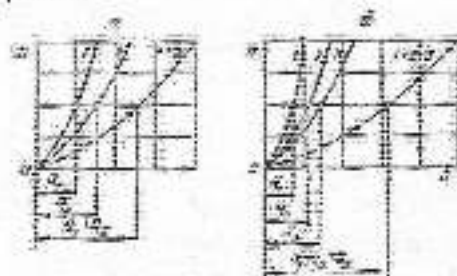
Bu tenglikdan murakkab quvur uchun bosim kamayishi tenglamasini chiqaramiz:

$$H = \frac{Q^2}{\left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right)^2} \quad (9.24)$$

Shunday qilib, parallel ulangan murakkab quvurning qarshiligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\alpha_i}\right)^2}$$

(9.25) Parallel ulangan quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (9.18) va (9.19) tenglamalardan foydalanamiz. Avval ikki parallel quvurdan iborat murakkab quvurni ko'ramiz (9.8-rasm, a) Parallel quvurlarning xarakteristikalari 1 va 2 grafiklar ko'rinishida ifodalangan. Murakkab quvurning xarakteristikasini hosil qilish uchun (9.20) ga asosan bosimning biror qiymatida birinchi va ikkinchi quvurlarda sarflarni qo'shamiz, ya'ni ordinata o'qining biror qiymatida 1 va 2 ga to'g'ri kelgan abstsissa o'qining kesimlarini qo'shamiz. Bu ishini bosimning barcha qiymatlari uchun bajarib, murakkab quvur uchun xarakteristika hosil qilamiz. Uchta parallel quvurdan tashkil topgan murakkab quvurning xarakteristikasi ham 1, 2, 3 quvurlarning xarakteristikalarini tuzishdan boshlanadi. Bu holda ham bir xil bosimda 1 quvurning sarfiga avval 2 quvur sarfini, so'ng 3 quvur sarfini qo'shish yo'li bilan murakkab quvurning xarakteristikasini tuzamiz. U uchta parallel quvurdan tuzilgan murakkab quvurning xarakteristikasi ham xuddi shu usulda hosil qilinadi.



9.8-rasm. Parallel ulangan quvurlarning xarakteristikasi.

9.5. Murakkab quvurlar

Murakkab quvurlar quvurlar xilma-xil usullarda tutashirilgan bo'lib, ular ketma-ket, parallel ulangan va tarmoqlarga ajralgan bo'laklardan tashkil topgan bo'ladi. Biz yuqorida ketma-ket va parallel ulangan quvurlardan tashkil topgan bo'laklarni ko'rdik. Endi quvurning tarmoqlangan bo'lagini ko'ramiz. Asosiy quvur A nuqtadan uchta 1, 2, 3 tarmoqlarga ajralsin (9.9-rasm). Ularning oxirgi nuqtalarining balandliklari

z_1, z_2, z_3 , bosimlari p_1, p_2, p_3 , sarflari Q_1, Q_2, Q_3 bo'lsin. U holda bu quvurning yig'indisi asosiy quvurdagi sarfga to'g'ri keladi:

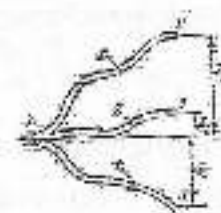
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Har bir tarmoq uchun Bernulli tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{p_1}{\rho} = z_1 + \frac{p_1}{\rho} + H_1$$

$$\frac{p_2}{\rho} = z_2 + \frac{p_2}{\rho} + H_2$$

$$\frac{p_3}{\rho} = z_3 + \frac{p_3}{\rho} + H_3$$



9.9-rasm. Quvurlarning tarmoqlarga bo'linishi.

Bu tengliklarda p_1, p_2, p_3 larni atmosfera bosimiga teng deymiz va $\frac{p_i}{\rho} = H_i$ ekanini hisobga olib hamda 1, 2, 3 quvurlar uchun (9.2) formuladan foydalanib, quyidagilarni yozamiz:

$$H_1 = z_1 + \alpha_1 Q_1^2; H_2 = z_2 + \alpha_2 Q_2^2; H_3 = z_3 + \alpha_3 Q_3^2 \quad (9.26)$$

Yoki $H_i = z_i + H_i$ ekanligini hisobga olib va $z_2 = z_1 + z_{1,2}$, $z_3 = z_1 + z_{1,3}$ belgilashlarni kiritib, oxirgi tengliklarni o'zgartiramiz:

$$H_1 = \alpha_1 Q_1^2; H_2 = z_{1,2} + \alpha_2 Q_2^2; H_3 = z_{1,3} + \alpha_3 Q_3^2 \quad (9.27)$$

Bu tenglamalardan 1, 2, 3 quvurlardagi sarflarni topib va qo'shib umumiy harjni topamiz:

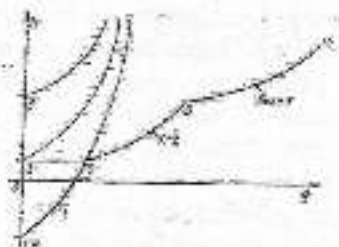
$$Q = \left(\frac{H_1}{\alpha_1} + \sqrt{\frac{H_2 - z_{1,2}}{\alpha_2}} + \sqrt{\frac{H_3 - z_{1,3}}{\alpha_3}} \right) \quad (9.28)$$

yoki

$$Q = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sqrt{\frac{1 - z_{1,2}}{\alpha_2}} + \sqrt{\frac{1 - z_{1,3}}{\alpha_3}} \right) H_1 \quad (9.29)$$

bu yerda $z_{1,2} = \frac{z_2 - z_1}{H_1}$, $z_{1,3} = \frac{z_3 - z_1}{H_1}$ bo'lib, ular uchun $z_{1,2} < 1$, $z_{1,3} < 1$ tengsizliklar o'rinlidir. Agar uchala quvurning ham ikkinchi uchi bir xil balandlikda bo'lsa ($z_1 = z_2 = z_3$), u holda $z_{1,2} = 0$; $z_{1,3} = 0$ va H_1, H_2, H_3 lar teng bo'ladi

hamda sarf uchun quvurlar parallel ulangan hol uchun chiqarilgan munosabatini olamiz. Endi yuqorida keltirilgan formulalarga nasos tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika hosil qilish mumkin (9.10-rasm). Buning uchun ularning xarakteristikalarini quvurlarni parallel ulashdagi kabi qo'shamiz.



9.10-rasm. Tarmoqlarga bo'lingan quvurning xarakteristikasi.

Natijada 9.10-rasmida tasvirlangandek siniq egri chiziq $BSDE$ ni olamiz. Bu chiziq tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika bo'lib, u 2 va $BSDE$ ni olamiz. Bu chiziq tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika bo'lib, u 2 va 3 quvurlarning ikkinchi uchi balandligida C va D nuqtalarda sinadi. Agar suyuqlik A nuqtadan B, C, D nuqtalarga qarab emas, teskari yo'nalishda oqsa unda 1, 2, 3 quvurlarning xarakteristikalarini (sartlar Q_1, Q_2, Q_3 manfiy bo'lgani uchun) H o'qining chap tomonida (ya'ni Q o'qining manfiy yo'nalishida) qo'shiladi. Bordi-yu, bu quvurlarning ha'zilaridan oqini o'ngga, boshqalarida chapga bo'lganda ham o'ngga oqayotgan suyuqlik uchun xarakteristika H o'qidan o'ngga chapga oqayotganlari uchun esa xarakteristika chapga quriladi va so'ng qo'shiladi.

Quvur sistemasi bir qancha qismlardan iborat bo'lib, ular ketma-ket va parallel ulangan quvurlardan tashkil topgan bo'lsa, u holda bu qismlarning har biriga ketma-ket va parallel ulash qoidalarini qo'llab, xarakteristikalarini yoki tenglamalarini tuzib olamiz. So'ngra bu qismlarning har birini ayrim quvur sifatida qarab va parallel yoki ketma-ket ulash qoidasidan foydalanib sistema uchun xarakteristika yoki tenglama tuzamiz. Bu qoidaga asosan har qanday murakkab quvurlar sistemasini hisoblash mumkin.

9.6. Nasosdan ta'minlanuvchi quvur

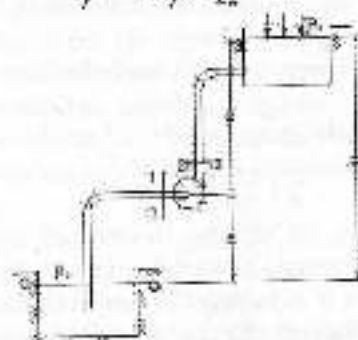
Yuqorida biz turli usulda ulangan quvurlar sistemasini ko'rdik, biroq ularning suv bilan ta'minlanishi qanday amalga oshirilishi haqida to'xtalib o'tmadik. Bunday hol balandlikka o'rnatilgan katta idishdan ta'minlanuvchi

quvurlar sistemasi uchun yoki nasosdan ta'minlanuvchi sistemalarining sistemasi uchun o'rinli. Sanoat va qishloq xo'jaligida quvurlarni nasos orqali ulash hollari ko'p uchrab turadi. Bu holda quvurlar sistemasidagi bosim ustiga nasos hosil qilgan bosimni ham qo'shish kerak bo'ladi. Shu nasosda nasosdan ta'minlanuvchi sodda quvurlarni (9.11-rasm) ko'ramiz.

Nasos pastki idishdan p_0 bosimli suyuqlikni so'rib, yuqoridagi p_1 bosimli idishga chiqarib bersin. Nasos o'qining pastki sathidan balandligi H_1 geometrik so'rish balandligi deyiladi va bu balandlikka suyuqlik harakat qilyotgan quvur so'rish quvuri deyiladi. Suyuqlikning yuqori sathining balandligi H_2 zo'riqish geometrik balandligi deyiladi va suyuqlikni bu balandlikka ko'tarishda qatnashuvchi quvur haydash (nagotatelnaya ili napornaya) quvuri deyiladi.

So'rish quvuri uchun ($0 - 0$ va $1 - 1$ kesimlar uchun) Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$p_2 = H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} + h_{\Sigma}$$



9.11-rasm. Nasosdan ta'minlanuvchi quvurga old chizma.

Bu tenglamadan ko'rinadiki, nasosning suyuqlikni H_1 balandlikka ko'tarish, unga kinetik energiya berishi va gidravlik qarshiliklarni yengishi birinchi idishdagi p_0 bosimdan foydalanish hisobiga amalga oshiriladi. Shuning uchun bu bosimdan shunday foydalanish kerakki, nasosga kirish oldidan suyuqlikda kavitatsiya hodisasini vujudga keltirmaydigan darajadagi chegirma bosim (p_1) saqlanib qolsin. Bu nasoslarning so'rish quvurlarini nihoyatda aniq va puxta hisoblash kerak. (9.29) tenglama so'rish quvurlarini hisoblashda asosiy tenglama hisoblanadi. Bunda hal qilinishi kerak bo'lgan masalalar sifatida quyidagilarni keltirish mumkin.

1) barcha o'lchamlar va sarf berilgan. Suyuqlikning nasosga kirish oldidagi bosimni hisoblash kerak.

Bu masalani yechishda nasosga kirishdagi suyuqlik bosimini (p_1) hisoblab, uni kavitatsiya hosil qilmaydigan minimal bosim bilan taqqoslash yo'li bilan bajariladi.

2) eng kichik (kavitatsiya hosil qilmaydigan) joiz bosim berilgan. Boshqa parametrlarning eng katta joiz qiymatlari ($H_1 \max$, $Q_{\max}$, $d_{\min}$) ni hisoblash talab qilinadi.

Agar p_0 atmosfera bosimiga teng bo'lsa, u holda so'rish quvuridagi bosim atmosfera bosimidan kichik bo'ladi. p_2 bosimning ortishi bilan so'rish quvuridagi bosim ortadi. Bu esa geometrik so'rish balandligining ortishiga yordam beradi.

Haydash quvuridagi suyuqlikning harakati (2 - 2 va 3 - 3 kesimi uchun ham Bernulli tenglamasini yozish mumkin.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = H_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{2-3} \quad (9.30)$$

Agar haydash quvurining ikkinchi uchidan biror idish bo'lsa, u holda (9.30) tenglamaning o'ng tomonida tezlik bosim bo'lmaydi, lekin bunday harakat vaqtida bosimning kengayishga surf bo'lishini hisobga olish kerak. (9.30) tenglamaning chap tomoni nasosdan chiqishdagi solishtirma energiyani ko'rsatadi. Nasosga kirishdagi solishtirma energiyani (9.29) tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + H_1 + h_{1-2} \quad (9.31)$$

Bu oxirgi tenglama va (9.30) dan foydalanib suyuqlikning nasosdan o'tganda oladigan energiyasini hisoblash mumkin. Bu energiya suyuqlikka nasos orqali beriladi va u suyuqlikni tegishli balandlikka ko'tarish uchun sarflangan energiyani ifodalab, H_{nas} ko'rinishida belgilanadi va quyidagicha hisoblanadi:

$$H_{\text{nas}} = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) = H_1 + H_2 + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{1-2} + h_{2-3}$$

yoki

$$H_{\text{nas}} = H_2 + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \alpha Q^2 + \alpha Q^2 \quad (9.32)$$

bu yerda H_2 - suyuqlikning pastki sathdan yuqori sathga ko'tarilish balandligi; αQ^2 - yuqori sathdagi tezlik bosimi; αQ^2 - so'rish va haydash quvurlardagi qarshiliklar yig'indisi; V_2 - yuqori sathdagi tezlik. Agar pastki va yuqori sathlardagi bosimlar p_0 va p_2 atmosfera bosimiga teng bo'lsa, u holda

$$H_{\text{nas}} = H_2 + \alpha Q^2 + \alpha Q^2 = H_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \alpha Q^2$$

bo'ladi. Bu formuladan ko'rinadiki, suyuqlikka nasosning bergan bosimi suyuqlikni yuqori sathda harakat qildirish uchun zarur bo'lgan bosim H_2 ga teng bo'ladi:

$$H_{\text{nas}} = H_2 \quad (9.33)$$

Bu qoidani nasoslar barqaror ish tartibining hammasi uchun qo'llash mumkin. Nasosning ishlash xarakteristikasi uning aylanish soniga bog'liq bo'lib, bu son nasosning quvvatiga bog'liq bo'lmagan hollar uchun o'zgarmidir. Agar nasos yopiq sistemada ishlasa, ya'ni pastki va yuqori idishlar bo'lmay, so'rish va haydash quvurlari tutashtirilgan bo'lsa, u holda (9.32) formula o'rinda quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$H_{\text{nas}} = H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} = H_2$$

ya'ni zarur bosim bilan nasos hosil qilgan bosim teng bo'ladi. Bu holda yopiq sistemada, albatta, qo'shimcha kengayuvchi kesim va tenglashtiruvchi idishlar bo'lib, ular odatda suyuqlikning nasosdan chiqish kesimi bilan tutashtirilgan bo'ladi.

9.7. Elektrogidravlik o'xshashlik (analogiya) haqida tushuncha

Biz yuqorida quvurlarni hisoblash uchun (9.4) va (9.5) tenglamalarni chiqardik va ularni quyidagi ko'rinishlarda ifodaladik:

$$H = \lambda \frac{8U + L_{\text{eq}}}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad (9.34)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda(U + L_{\text{eq}})}} H \quad (9.35)$$

Laminar harakat vaqtida bu formulalarda qovushqoqlik ishqalanish koeffitsiyenti λ quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64\nu}{8U} = \frac{16\nu\pi D}{Q}$$

u holda

$$H = \frac{128\nu}{gD^4} \frac{L + L_{\text{eq}}}{\pi D^2} Q$$

yoki

$$H = \alpha \frac{L}{D} Q + \beta Q \quad (9.36)$$

bu yerda

$$L = L + L_{\text{eq}}; \alpha = \frac{32\nu}{gD^4}; \beta = \frac{32\nu}{gD^2}$$

B - hisoblash yo'li bilan aniqlanadigan koeffitsiyent. (9.36) tenglama fizikaniing elektr bo'limida o'tkazgichlarning bir qismi uchun Ohm qonuniga juda o'xshab ketadi. Agar bosim H ni kuchlanish U ga, α ni solishtirma

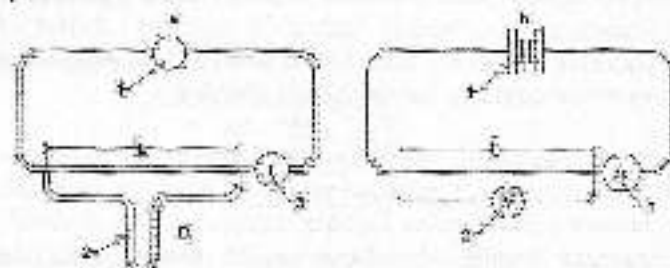
qarshilik ρ ga, sarf Q ni tok kuchi I ga qiyoslasak, u holda (9.36) ni Ohm qonuni

$$U = \rho \frac{L}{S} I = RI \quad (9.37)$$

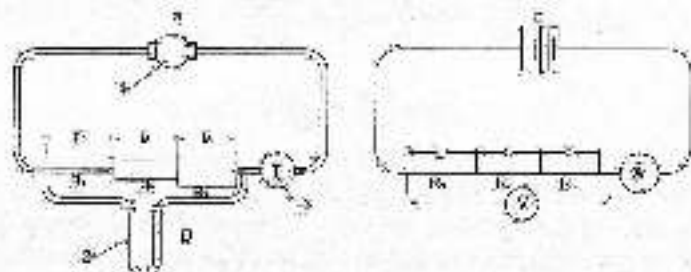
ga qiyoslash mumkin.

(9.36) bilan (9.37) ning o'xshashligidan foydalanib elektrogidravlik o'xshashlikni tuzish mumkin. Bu o'xshashlikka asosan o'tkazgichlardan tok o'tkazib, uning kuchlanishi U ni voltmeter va tok kuchi I ni ampermetr yordamida aniqlash mumkin. Bunda voltmeter quvurlardagi difmanometri, ampermetr esa sarf o'lchash asbobi o'rini bosadi (9.12-rasm). Tok manbai sifatida esa energiya manbai nasosni ifodalash mumkin.

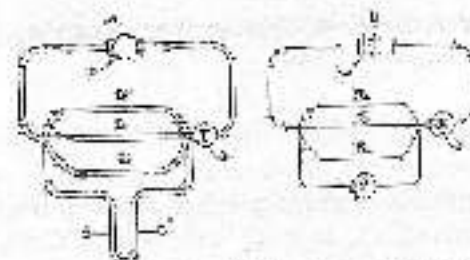
9.12-rasmida 1-manha (a - rasmda nasos, b - rasmda batareya), 2 - (a - rasmda difmanometr, b - rasmda voltmeter, 3 - (a - rasmda sarf o'lchash asbobi, b - rasmda ampermetr) ifodulangan bo'lib, quvur va o'tkazgich uzunliklari L orqali ifodalangan. Shu usul bilan quvurlarni ketma-ket (9.12-rasm) va parallel (9.13-rasm) ulashni o'tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash bilan taqqoslash mumkin. Quvurlarni ketma-ket ulashda (9.12-rasm) umumiy qarshilik



9.12-rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni ketma-ket ulashda o'xshashlik.



9.13-rasm. Suyuqlik va tok o'tkazgichlarda o'xshashlikka doir chizma.



9.14-rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni parallel ulashdagi o'xshashlik.

$$H_1 = H_2 = H_3 \quad (9.38)$$

$$H_1 = H_2 + H_3 + H_4$$

ya

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

bo'lib, (9.38) da

$$R_1 = R_2 + R_3 + R_4$$

O'tkazgichlar uchun esa

$$U_1 = R_1 I_1 \quad (9.39)$$

$$U_1 = U_2 + U_3 + U_4$$

ya

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

bo'lib, (9.39) da

$$R_1 = R_2 + R_3 + R_4$$

Quvurlarni parallel ulashda esa (9.14-rasm) umumiy qarshilik

$$H = H_1 = H_2 = H_3 \quad (9.40)$$

$$H = H_1 + H_2 + H_3$$

ya

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

bo'lib, (9.40) da

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

o'tkazgichlar uchun esa

$$U = R_1 I_1 \quad (9.41)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

ya

$$\frac{1}{I_1} = \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3} + \frac{1}{I_4}$$

bo'lib, (9.41) da

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

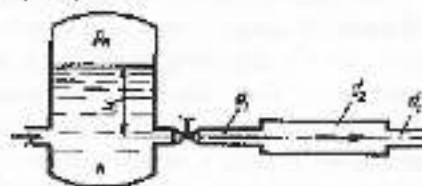
Bu qonuniyatlar quvurlarni va o'tkazgichlarni parallel hamda ketma-ket ulashdagi o'xshashlikni ko'rsatadi.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

Masala. Berilgan quvurlar tizimi orqali, rezervuardan atmosferaga oqib chiqayotgan suv sarfining miqdorini aniqlash lozim bo'lsin (9.15-rasm).

Quvurlarning diametrlari, uzunligi va materiali (Δ, λ) ma'lum bo'lib, quyidagi qiymatlarga ega bo'lsin:

$d_1 = 150 \text{ mm}; d_2 = 200 \text{ mm}; d_3 = 250 \text{ mm}; l_1 = 20 \text{ m}; l_2 = l_3 = 15 \text{ m}; \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,02; H = 3,0 \text{ m};$



9.15-rasm.

Jo'mrakning qarshilik koeffitsiyenti $\xi = 0,4$;

Yechimi: Masalani yechish uchun Bernulli tenglamasidan foydalanamiz. Bernulli tenglamasidan foydalanish quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1) Kesimlarni tanlaymiz:

I-I va II-II

2) Taqqoslash tekisligini o'tkazamiz:

0-0,

3) Oqim uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f$$

4) Tenglamalardagi hadlarni aniqlaymiz:

$$z_1 = H; p_1 = p_2 = p_a; V_1 = 0; \alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

$$z_2 = 0; p_2 = p_a; V_2 = ?$$

5) Aniqlangan hadlarni tenglamaga qo'yamiz:

$$H - \frac{p_a}{\gamma} + 0 = 0 - \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

bu yerdan:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

(adi quvurlar tizimida yo'qolgan dam $-h_f$ miqdorini aniqlaymiz: Ma'lumki,

$$h_f = \sum h_L + \sum h_M$$

Quvur uzunligi bo'ylab yo'qolgan dam Darsi-Weisbach formulasi bo'yicha:

$$\sum h_L = h_{L1} + h_{L2} + h_{L3} = \frac{\lambda l_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} + \frac{\lambda l_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} + \frac{\lambda l_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasidan

$$V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = V_3 \omega_3$$

ekanligidan foydalanib, hamda $V_3 = V_2$

$$\sum h_L = \left[\frac{\lambda l_1}{d_1} \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\lambda l_2}{d_2} \left(\frac{\omega_1}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\lambda l_3}{d_3} \right] \frac{V_2^2}{2g} \quad (9.42)$$

$$\sum h_L = \xi_1 \frac{V_2^2}{2g}$$

yoki

Mahalliy qarshiliklarda damning yo'qolishi ko'rilayotgan misolda, quyidagi joylarda sodir bo'ladi: quvurning kirish qismida $-(\xi_1)$; keskin kengayishda $-(\xi_2)$; keskin torayishda $-(\xi_3)$; berkitgichda $-(\xi_4)$.

U holda

$$\sum h_M = \xi_1 \frac{V_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{V_2^2}{2g} + \xi_3 \frac{V_3^2}{2g} + \xi_4 \frac{V_4^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasidan va $V_3 = V_2$ ekanligidan foydalanib

$$\sum h_M = \xi_1 \frac{V_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{V_2^2}{2g} + \xi_3 \frac{V_2^2}{2g} + \xi_4 \frac{V_4^2}{2g} \quad (9.43)$$

Yoki

$$\sum h_M = \xi_M \frac{V_2^2}{2g}$$

Jadvaldan mahalliy qarshilik qiymatlarini olib, ξ_M ni hisoblaymiz. (9.42) va (9.43) tenglamalarini qo'yib tizimda yo'qolgan dam uchun quyidagi ifodani olamiz

$$h_f = \xi_M \frac{V_2^2}{2g} + \xi_1 \frac{V_1^2}{2g} = (\xi_M + \xi_1) \frac{V_2^2}{2g}$$

Yoki

$$h_f = \xi_s \frac{V_2^2}{2g} \quad (9.44)$$

bu yerda: ξ_{Σ} – tizimning qarshilik koeffitsiyenti.
(9.44) ifodani qu'yib

bu yerdan
$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \xi_{\Sigma} \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_{\Sigma}}} \sqrt{2gH}$$

Yoki

$$V_2 = \varphi \sqrt{2gH};$$

bu yerda φ – tezlik koeffitsiyenti.

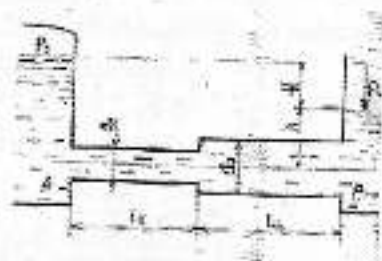
U holda quvurlar tizimi orqali oqib chiqayotgan sarf

$$Q = \mu \omega_2 \sqrt{2gH} = 0,17 \cdot \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

bu yerda μ – sarf koeffitsiyenti.

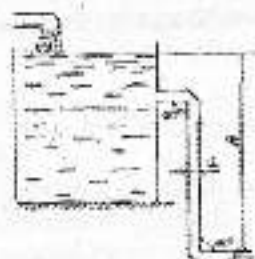
Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Suv bir rezervuardan ikkinchisiga ketma-ket ulangan ikkita quvurlar orqali uzatiladi. Quvurlarning diametri va uzunligi mos ravishda $d_1 = 150 \text{ mm}$; $l_1 = 25 \text{ m}$; $d_2 = 200 \text{ mm}$; $l_2 = 35 \text{ m}$; gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,03$. Agar $H_1 = 3,0 \text{ m}$; $H_2 = 10 \text{ m}$; $P_M = 20 \text{ kPa}$ bo'lsa, quvurdagi suv sarfi – Q ni aniqlang. Pezometrik va dam (napor) chiziqlarini chizing (9.16-rasm).



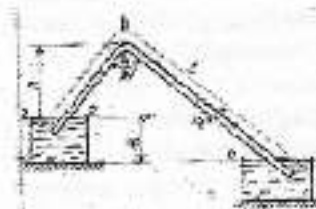
9.16-rasm.

2. Rezervuarga quyilayotgan sarf $Q = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$. Rezervuarda o'zgarmas suv sathini aniqlash uchun quvur orqali suv atmosferaga oqib chiqadi. Agar quvur uzunligi $\lambda = 0,025$ bo'lib, rezervuarga kelayotgan va chiqayotgan sarf bir xil bo'lishi uchun H -miqdorni aniqlang (9.17-rasm).



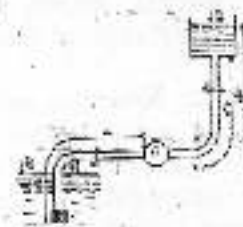
9.17-rasm.

3. Magistral kanaldan novga harorati $t = 20^\circ\text{C}$ suv po'lat sifon orqali uzatiladi. Sifonning diametri $D = 30 \text{ mm}$; uzunligi m , sarfi $Q = 0,5 \text{ l/s}$, $h = 4,0 \text{ m}$ bo'lsa, kanal va novdagi suvlar sathining farqini aniqlang (9.18-rasm).



9.18-rasm.

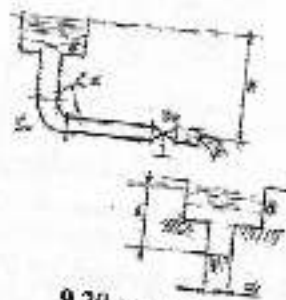
4. Markazdan qochma nasos harorati $t = 20^\circ\text{C}$ suvni diametri $d = 100 \text{ mm}$ va uzunligi m li po'lat quvur orqali $N = 30 \text{ m}$ balandlikka uzatmoqda. Agar x-x kesimdagi bosim $P_x = 0,2 \text{ mPa}$ bo'lsa quvurdagi suv sarfini aniqlang (9.19-rasm).



9.19-rasm.

5. Suv A-rezervuardan B-rezervuarga diametri $d = 80 \text{ mm}$ va uzunligi $l = 10 \text{ m}$ quvur orqali uzatiladi. B-rezervuardan suv naycha orqali (sarf koeffitsiyenti $\mu = 0,82$) atmosferaga oqib chiqmoqda. Agar B-rezervuardagi suyuqlik sathi $h = 2,0 \text{ m}$ bo'lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti $\lambda = 0,03$; burilish va jo'mrakning qarshilik koeffitsiyentlari: $\xi_1 = 0,4$;

$\xi_2 = 3,0$ bo'lsa, A-rezervuarda qanday dam (napor) H bo'lishi kerak (9-rasm)



9.20-rasm.

IX bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Soda quvumi hisoblashning asosiy tenglamasi.
2. Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash.
3. Murakkab quvurlar.
4. Quvurlarning tarmoqlarga bo'linishi.
5. Nasosdan ta'minlanuvchi quvur.

X BOB GIDRAVLIKANING ALOHIDA MASALALARI (MAXSUS KURS)

SUYUQLIKNING BEQAROR HARAKATI

Suyuqliklar harakat qilayotgan vaqtida uning tezligi va bosimi, odatda, vaqtga bog'liq bo'lib, bunday harakatni beqaror harakat deb atagan edik. Xususiy holda vaqt o'tishi bilan harakat barqarorlashib tezlik va bosim vaqtga bog'liq bo'lmay qoladi. Yuqorida ko'rib o'tilgan suyuqlikning quvurlardagi harakatlari va teshiklardan oqishiga ko'rilgan misollar barqaror harakatlarning asosiy masalalari qatoriga kiradi. Lekin har qanday harakat holatini o'zgarishi beqaror harakatni vujudga keltiradi. Bir harakat holatidan ikkinchisiga o'tish asta-sekin yoki keskin o'zgarish bilan sodir bo'lishi mumkin. Masalan, biror idishdagi suyuqlik teshik orqali oqanda vaqt davomida bosimning o'zgarib borishi natijasida tezlik va sur'atning ham o'zgarishi harakat holatining asta-sekin o'zgarib borishiga misol bo'lsa, quvurlarda jo'mraklarni yoki o'zanlarda to'siqlarning keskin ochib-yopilishi vaqtidagi o'zgarishi harakat holatining keskin o'zgarishiga misol bo'ladi. Bunday harakat vaqtida inertsiya kuchlari asta-sekin yoki keskin o'zgarib boradi. Barqaror harakat vaqtida esa inertsiya kuchining o'zgarishi sezilarsiz bo'lib, harakat holatiga deyarli ta'sir qilmaydi. Shuning uchun barqaror harakat bilan beqaror harakatni nazariy tekshirish birinchi holda inertsiya kuchining o'zgarishi hisobga olinmasligi ikkinchi holda bu o'zgarish hisobga olinishi bilan farqlanadi.

Ideal va real suyuqliklar barqaror harakatining umumiy tenglamalari (3.25) va (3.28) ko'rinishda yoziladi. Turbulent harakat uchun esa (3.28) tenglama umumlashtirib hosil bo'lgan tenglamani Reynolds tenglamasi deyiladi.

Barqaror harakat uchun uzilmaslik tenglamasi bo'yicha oqimchani ixtiyoriy ikki kesimdagi sarflari o'zaro teng ekanligi ko'rsatilgan edi. Barqaror harakat uchun esa bu qonun vaqtning biror aniq qiymatida to'g'ri bo'lib, vaqt o'tishi bilan tezlik o'zgargunidek, sarf ham o'zgarib boradi. Shuningdek, vaqt davomida oqim chizig'i ham, elementar oqimcha ham o'zgarib boradi. Bu holda 10.1-rasmda tasvirlangan sxema elementar oqimchani biror aniq vaqtdagi holatiga to'g'ri keladi deb hisoblaymiz. Agar 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi masofa cheksiz kichrayib borib, dl uzunlikni qabul qilsa, u holda (3.12) tenglamani quyidagicha yoza olamiz.

$$q_1 - q_2 = 0 \text{ yoki } dq = 0 \quad (10.1)$$

Bu tenglamada chap tomondagi ifoda sarfdan olingan to'liq diferentsial bo'lib, q vaqt va yo'l bo'yicha o'zgarib boruni uchun, matematikada quyidagicha ifodalanadi.

$$\frac{\partial q}{\partial t} dt + \frac{\partial q}{\partial l} dl = 0. \quad (10.2)$$

Hosil bo'lgan tenglamaning ikki tomoni dt ga bo'lamiz va tezlikning ta'rifidan $u = \frac{dl}{dt}$ ekanligini hisobga olib, ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial l} = 0. \quad (10.3)$$

Bu hosil qilingan tenglama beqaror harakat elementlar oqimchasi uchun uzilmaslik tenglamasidir. Barqaror harakatdagi kabi beqaror harakat uchun ham oqimning uzilmaslik tenglamasini yozish mumkin:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + S \frac{\partial Q}{\partial l} = 0. \quad (10.4)$$

Beqaror harakatni tekshirish juda murakkab bo'lib, biz ikki soddalashtirilgan xususiy hol ustida to'xtalib o'tamiz.

1) deformatsiyalanmaydigan quvurdagi siqilmaydigan suyuqlikning harakati. Bu holda harakat holati asta-sekin o'zgarib borishi hisobga olinadi, lekin quvur deformatsiyasidan hosil bo'ladigan kuchlar bo'lmaydi.

2) gidravlik zarbu masalasi bo'lib, bunda quvur deformatsiyalanadi, lekin soddalashtirish harakat holatining keskin o'zgarishi va quvur kesimining o'zgarishligi bilan ifodalanadi. Beqaror harakatining umumiy masalalari yechish shu turdagi harakatlarga bag'ishlangan maxsus kurslarda ko'rib, ko'p hollarda (3.25), (3.28) yoki Reynolds tenglamalar sistemalarini yechish bilan bog'liq.

10.1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsia bosimi hisobga olingan beqaror harakati

Beqaror harakatni tekshirish uchun avval bu harakatga Bernulli tenglamasini chiqaramiz. Buning uchun kinetik energiyani o'zgarishi qonunidan foydalanamiz. Beqaror harakatda tezlik va bosim yo'l bo'yicha ham, vaqt bo'yicha ham o'zgargani uchun (3.39) tenglamadagi kinetik energiyani dt vaqtida o'zgarishi quyidagicha yoziladi:

$$d\left(\frac{mu^2}{2}\right) = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl \quad (10.5)$$

Barqaror harakatda elementlar oqimchani ifodalovchi 9.1-rasmdagi sxema beqaror harakat uchun elementlar oqimchani biror aniq vaqtdagi holatni ifodalasin. Bu rasmdagi 1-1 va 2-2 kesimlar orasida masofani cheksiz

kichraytirib borib, dl ga intiltirsak, (3.39) tenglama yuqoridagi oxirgi munosabatni hisobga olgan holda quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl = \sum P dl \quad (10.6)$$

Siqilmaydigan suyuqlik uchun massa o'zgarish bo'lgani sababli oxirgi tenglik ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$m\left[\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{u^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{u^2}{2}\right)dl\right] = \sum P dl \quad (10.7)$$

tenglamaning ikki tomonini dt ga bo'lamiz va $\frac{dl}{dt} = u$ ekanligini nazoratga olib

$$mu \frac{\partial u}{\partial t} + mu \frac{\partial u}{\partial l} u = \sum P u$$

yoki

$$m \frac{\partial u}{\partial t} + mu \frac{\partial u}{\partial l} = \sum P \quad (10.8)$$

bo'ladi. 3.41 tenglamaga asosan

$$m = \rho q dl \quad (10.9)$$

(3.41) ga asosan 1-1 va 2-2 kesimlarga ta'sir qiluvchi bosim kuchlari bajargan ishlarining yig'indisi

$$A_1 - A_2 = (p_1 - p_2)q dl$$

bo'ladi yoki 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi masofa cheksiz kichik ekanligini nazoratga olsak va

$$p_1 - p_2 = -dp = -\frac{dp}{dl} dl$$

desak, u holda

$$A_1 - A_2 = -\frac{dp}{dl} q dl dl \quad (10.10)$$

suyuqlikning 1-1 kesimdan 2-2 kesimga o'tishida og'irlik kuchining bajargan ishi

$$A_1 = \rho g (z_1 - z_2) = \rho g dl (z_1 - z_2) \quad (10.11)$$

yoki

$$A_2 = -\rho g dl dz = -\rho g \frac{dz}{dl} dl dl$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Endi (10.9), (10.10) va (10.11) munosabatlarni hisobga olgan holda (10.7) tenglamani quyidagicha yoza olamiz:

$$\rho q dl \left[\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{u^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{u^2}{2}\right)dl \right] = -\frac{dp}{dl} q dl dl - \rho g \frac{dz}{dl} q dl dl$$

Bu tenglama (10.8) dagi ko'rinishga keltirilsa,

$$\rho g d t \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial l} \right) = - \frac{\partial p}{\partial l} q d t - \gamma \frac{d z}{d t} q d t$$

bo'ladi. Oxirgi tenglamaning ikki tomoni $q d t$ ga bo'lib, quyidagi ko'rinishda ifodalaymiz:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial l} = - \frac{1}{\gamma} \frac{d p}{d l} - \frac{d z}{d t}$$

Ba'zi o'zgarishlardan so'ng esa beqaror harakat uchun Bernulli tenglamasini differentsial ko'rinishda olamiz:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{u^2}{2g} \right) - \frac{1}{\gamma} \frac{d p}{d l} - \frac{d z}{d l} = 0 \quad (10.12)$$

Bu tenglamani oralaridagi masofa chekli l ga teng bo'lgan ikki kesim uchun integrallasak

$$\int \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} d l + \int \frac{u^2}{2g} d l + \int \frac{d p}{\gamma} - \int d z = 0$$

va hosil bo'lgan tenglamani chekli oraliqdagi kesimlar uchun yozsak, u holda beqaror harakat uchun Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{1}{g} \int \frac{\partial u}{\partial t} d l$$

Bu tenglamaning o'ng tomonidagi integral inertiya bosimi deb ataluvchi miqdordir:

$$h_{in} = \frac{1}{g} \int \frac{\partial u}{\partial t} d l \quad (10.13)$$

bu yerda

$$l = \int_1^2 \frac{\partial u}{\partial t} d l$$

u_1 va u_2 ni $\frac{\partial u}{\partial t}$ ning birinchi va ikkinchi kesimlardagi qiymatlari bilan ifodalasak, Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{in} \quad (10.14)$$

Bernulli tenglamasini oqim uchun yozsak, u holda tezlikning qiymatlarini uning o'rnatma qiymatlari bilan almashtirib yozamiz

$$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{in} \quad (10.15)$$

Beqaror harakatning Bernulli tenglamasini real suyuqliklar uchun ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{in} + h_{\Sigma} \quad (10.16)$$

Shuni nazarda tutish kerakki, h_{in} ni birinchi va ikkinchi kesimlardagi inertiya kuchlari bajargan solishtirma ishlarning farqini ko'rsatadi.

Agar olingan tenglamalarni quvurlar sistemasiga qo'llasak, u holda ikki kesim orasidagi ishqalanish va mahalliy qarshiliklarga bo'lgan sarf va inertiya qarshiligiga bo'lgan sarfni hisoblab yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h + \sum h_{in} \quad (10.17)$$

Inertiya bosimi quvurlarda kranlar va turli asta-sekinlik bilan ochib-yopiladigan hollarda shu ochib-yopilishning suyuqlik harakatiga ko'rsatgan qarshiliklari sifatida namoyon bo'ladi. Gidravlik mashinalar, gidrouzatkich va gidrouzatlarda esa porshenlar harakati vaqtida hosil bo'ladigan o'zgarishlar ham inertiya bosimi yordamida hisobga olinadi. Misol uchun ikki idish biror quvur orqali tutashtirilgan bo'lib, quvurga tutashtirilgan porshen harakat qilayotgan bo'lsin. Bu holda birinchi idishdagi suyuqlik sathi (0-0) kesim bilan quvurdagi biror 1-1 kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi quyidagicha bo'ladi.

$$\frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{u^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + \lambda \frac{l}{D} \frac{u^2}{2g} + \frac{1}{g} \int \frac{\partial u}{\partial t} d l \quad (10.18)$$

Quvurdagi 2-2 kesim bilan ikkinchi idishdagi suyuqlik sathi 3-3 kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi esa quyidagicha yoziladi:

$$\frac{p_2}{\gamma} + z_2 = \frac{u^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} + \lambda \frac{l}{D} \frac{u^2}{2g} + \frac{1}{g} \int \frac{\partial u}{\partial t} d l \quad (10.19)$$

Bu yerda inertiya bosimi porshenning musbat yoki manfiy tezlikni oshiruvchi yoki susaytiruvchi yo'nalishda harakat qilishiga qarab musbat yoki manfiy ishora bilan olinadi.

10.2. Gidravlik zarba hodisasi

Quvurlarda gidravlik zarba hodisasi deformatsiyalanuvchi quvurlardagi kam siqiluvchi suyuqlikning tezligi yoki bosimi keskin o'zgariganda hosil bo'ladigan tebranma harakatdan iboratdir. Bu hodisa tez sodir bo'lib, bosimning keskin ortishi va kamayishi bilan xarakterlanadi. Bosimning bunday o'zgarishi suyuqlikning va quvur devorlarining deformatsiyalanishi bilan bog'liqdir.

Gidravlik zarba ko'p hollarda jo'rtirak yoki oqimning boshqaruvchi biror boshqa qurilmaning tez ochilishi yoki yopilishi natijasida sodir bo'ladi. Unga boshqa hodisalar ham sabab bo'lishi mumkin. Quvurlardagi gidravlik zarbani birinchi marta prof. N.E. Jukovskiy nazariy asoslagan va tajribada tekshirib ko'rgan va uning "O gidravlicheskom udare" nomli asarida (1899 y) o'lon

qilingan. Suyuqlik V_0 tezlik va p_0 bosim bilan harakat qilayotgan quvurning oxiridagi kran jo'mrak "J" bir onda yopilsin deylik (10.1-rasm, a). U holda kraniga (yopilgandan so'ng) birinchi yetib kelgan suyuqlik zarrachalarining tezligi so'nib ularning kinetik energiyalari quvur devorlarining va suyuqlikni deformatsiyalash ishiga aylanadi. Bu yerda gidravlikaning avval ko'rilgan bo'limlaridagi kabi suyuqlik siqilmaydi deb hisoblamay, uning siqilishi α miqdorda bo'lsa ham hisobga olishga to'g'ri keladi, chunki shu siqilish katta va chekli miqdordagi zarba bosimi Δp ni vujudga keltiradi. Shunday qilib, jo'mrak oldida hosil bo'lgan Δp qo'shimcha bosimga mos ravishda quvur devorlari cho'zilib, suyuqlik siqiladi. Jo'mrak oldida to'xtatilgan suyuqlik zarrachalariga qo'shni bo'lgan zarrachalar ham yetib keladi va ularning ham tezliklari so'nadi. Natijada bosim oshish chegarasi ($a-a$ kesim) jo'mrakdan ta'minlovchi idish tomoniga, zarba to'liqining tezligi deb ataluvchi a tezlik bilan siljib boradi. Bosimi Δp ga o'zgargan sohaning o'zi esa zarba to'liqini deb ataladi. Bu to'liqni idishga yetib boranda esa, suyuqlik butun quvur bo'yicha to'xtagan va siqilgan bo'lib, quvur devorlari esa butunlay cho'zilgan bo'ladi. Bosimning zarbali o'tishi Δp esa quvur bo'yicha butunlay tarqalgan bo'ladi. (10.1-rasm, b). Lekin quvurdagi suyuqlik teng vazuli holatda bo'lmaydi. Bosimlar farqi Δp ta'sirida suyuqlik quvurdan idishga oqa boshlaydi. Bu oqim idishning bevosita oldida turgan zarrachalardan hoshlanib, uning chegarasi ($a-a$ kesim, teskari yo'nalishda) kran tomoniga a tezlik bilan harakat qiladi va ketida tiklangan p_0 bosimni V_0 tezlikka ega suyuqlik oqimini qoldiradi (10.1-rasm, v). Suyuqlik va quvur devorlari elastik deb qaralib, p_0 bosimi tiklanishi bilan o'z holiga qaytadi. Deformatsiya ishi qayta kinetik energiyaga aylanib, suyuqlik yana avvalgi V_0 tezligiga ega bo'ladi va teskari yo'nalishda oqa boshlaydi. Suyuqlik ushuni ana shu tezlik bilan oqishda davom



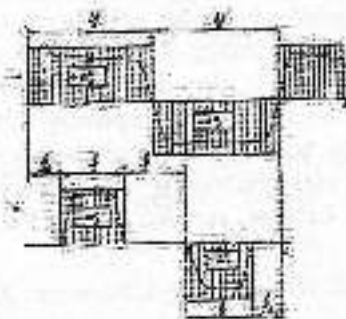
10.1-rasm. Gidravlik zarba hodisasini tushuntirishga doir chizma.

etib, jo'mrakdan uzilishga intiladi (10.1-rasm, g). Natijada krandan idishga a tezlik bilan harakat qiluvchi manfiy zarba to'liqini vujudga keladi va u bosimni p_0 ga kamaytirib, quvur devorini toraytirib, suyuqlikni kengaytiradi (10.1-rasm, d). Suyuqlikning kinetik energiyasi esa yana deformatsiya ishiga aylanadi, lekin bu ish endi manfiy bo'ladi. Bu harakat davom etib borib, manfiy zarba to'liqini ham idishgacha yetib keladi (10.1-rasm, e). Musbat zarba to'liqidagi kabi bu holat ham teng vazuli bo'lmaydi va natijada quvurda yana hosim tiklana boshlaydi, suyuqlik esa V_0 tezlikka o'riahadi (10.1-rasm, j). Idishdan qaytgan zarba to'liqini jo'mrakka yetib borishi bilan jo'mrak yopilgandagiga o'xshash hodisa yana vujudga keladi. Shundan so'ng butun sikl takrorlanadi.

N. E. Jukovskiy tajribalarida bunday siklning 12 marta takrorlanishi qayd qilingan, lekin har bir navbatdagi siklda, ishqalanish kuchi va energiyuning idishdagi suyuqlikka o'tishi natijasida Δp kamayib borgan. Gidravlik zarbaning vaqt davomida o'tishi 9.2-rasmida diagramma ko'rinishida tasvirlangan (10.2-rasmidagi a) diagrammada jo'mrak bir onda yopilgan deb qarab, jo'mrakning oldidagi x nuqtadagi bosimning nazariyadagi o'zgarishi Δp tutash chiziq bilan tasvirlangan. Quvurning o'trasidagi v nuqtaga zarba bosimi $\frac{l}{2a}$ vaqtga kechikib keladi va to'liqining bu nuqtadan idishga borib qaytib kelguncha, ya'ni $\frac{l}{2a}$ vaqt saqlanib turadi.

So'ng v nuqtada bosim p_0 ga tiklanadi (ya'ni $\Delta p = -p_0$) va shu holda teskari to'liqni yetib kelguncha, $\frac{l}{2a}$ vaqt saqlanadi (10.2-rasm, b).

Bu haqiqiy bosim grafigi emus. Bundan tashqari, tebratuvish so'nib boradi, ya'ni uning amplitudasi energiyuning sarg' bo'lishi hisobiga kamayib boradi.



10.2-rasm. Gidravlik zarbada bosimning vaqt davomida o'zgarishi.

10.3. To'g'ri zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi

Gidravlik zarba vaqtida bo'ladigan o'zgarishlarni va zarba kuchini hisobga olish uchun zarba bosimi Δp ning qiymatini aniqlash kerak. Buning uchun zarba bosimi ostida suyuqlikning siqilgan holi uchun harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teoremani qo'llaymiz. Shu maqsadda quvurdagi suyuqlikning elementar masofaga dx vaqtda siljishini ko'ramiz (10.3-rasm). Buning uchun biror vaqtda quvurdagi suyuqlikning jo'mrak oldidagi Δl bo'lagi zarba ta'sirida siqilgan bo'lsin. U holda suyuqlikka idish tomonidan $P_1 = p_1 \omega$ bosim kuchini, kam tomonidan esa $P_2 = (p_1 + \Delta p) \omega$ kuchi dt vaqt ta'sir qiladi. Suyuqlikning zarba yetib kelmagan qismining harakat miqdori $\omega \Delta l$ zarba ta'siri ostidagi qismning harakat miqdori $\omega \Delta l$ bo'ladi. Shunday qilib, ko'rilayotgan holda harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teorema qo'llanganda muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$(p_1 + \Delta p) \omega dt - p_1 \omega dt = \omega \Delta l dx \quad (10.20)$$

Bu tenglikdan

$$\Delta p \omega dt = \omega \Delta l dx$$

Yoki

$$\Delta p = \rho \Delta l \frac{dx}{dt} \quad (10.21)$$

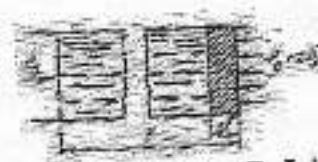
Bu yerda zarba to'lqinining tarqalish tezligi.

$$a = \frac{dx}{dt} \quad (10.22)$$

dan iborat va oxirgi tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p = \rho \Delta l a \quad (10.23)$$

Bu formula N. E. Jukovskiy formulasidir. Undan ko'rinadiki, gidravlik zarba bosimi suyuqlikning zichligi, tezligi va shu suyuqlikda to'lqin tarqalishi tezligiga proporsional bo'lib, ularning ko'paytmalariga teng. Agar suyuqlikda to'lqin tarqalish tezligini aniqlasak, tezlikni o'lchab (zichlik jadvallardan ma'lum), (10.23) formula yordamida zarba bosimini topa olamiz. Shuni aytish kerakki, a suyuqlikning va quvurning elastiklik xossalriga bog'liq. Bu bog'liqlikni aniqlash uchun quvurdagi suyuqlik kinetik energiyasining deformatsiyaga sarf bo'ladigan ishga aylanishini tekshiramiz. Radiusi R bo'lgan quvurdagi suyuqlikning kinetik energiyasi quyidagicha teng:



10.3 rasm. Gidravlik zarba uchun N.E. Jukovskiy formulasini chiqarishga doir chizma.



10.4 rasm. Gidravlik zarba vaqtida quvur devorining cho'zilishi.

$$\frac{\pi R^2 a^2}{2} = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho a^2 \quad (10.24)$$

Quvurni deformatsiyalashga ketgan ish A_1 kuchning cho'zilishga ko'paytmasining yarmiga teng. Deformatsiya ishini zarba kuchining ΔR (10.4-rasm) yo'lga sarf bo'lgan ish sifatida topamiz:

$$A_1 = \frac{1}{2} \Delta p \pi R \Delta R \quad (10.25)$$

Chuk qonuniga asosan

$$\sigma = E \frac{\Delta R}{R} \quad (10.26)$$

Bu yerda σ quvur devoridagi normal zo'riqish, u quvurning qalinligi σ va zarba kuchi Δp bilan quyidagicha bog'langan:

$$\sigma = \frac{\Delta p}{2} R \quad (10.27)$$

Bu munosabatlardan foydalanib quvurni deformatsiyalash ishini quyidagicha yozamiz:

$$A_1 = \frac{\Delta p^2 \pi R^3 l}{2E} \quad (10.28)$$

Endi quvurdagi suyuqlikni Δl masofadagi (9.3-rasm) siqish ishi A_2 ni topamiz. Bunda siqilgan suyuqlik sarfi $\omega \Delta l$ desak,

$$A_2 = \frac{1}{2} \omega \Delta l \Delta p = \frac{\pi R^2}{2} \Delta l \Delta p \quad (10.29)$$

Chuk qonuniga o'xshash, suyuqlikning chiziqli cho'zilishi zarba kuchi bilan quyidagicha bog'langan:

$$\Delta p_3 = K \frac{\Delta l}{l}$$

bu yerda K – suyuqlikning elastiklik moduli. U holda

$$A_3 = \frac{1}{2} \frac{\Delta p_3^2 \pi R^2 l}{K}$$

Kinetik energiya A_1 , va A_2 ishlarning yig'indisiga teng, ya'ni

$$\frac{1}{2} \pi R^2 \rho v_1^2 = \frac{\Delta p_3^2 \pi R^2 l}{2K} + \frac{\Delta p_3^2 \pi R^2 l}{2K}$$

Bu tenglamani Δp_3 ga nisbatan yechsak

$$\Delta p_3 = \rho v_1 \sqrt{\frac{1}{K + \frac{2\rho R}{\Delta l}}}$$

N. E. Jukovskiy formulasini umumiyroq ko'rinishda topdik.

(10.32) ni (10.23) bilan solishtirsak, suyuqlikda to'liq turqalish tezligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{K + \frac{2\rho R}{\Delta l}}}$$

Bu miqdorning o'lchovi tezlik o'lchoviga tengdir. Uning fizik ma'nosini aniqlash uchun quvurni deformatsiyalanmaydigan (ya'ni $E = \infty$) deb qaraymiz. U holda ildiz ostidagi ikkinchi had nolga aylanadi va

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

bo'lib qoladi. Oxirgi formula zichligi ρ va elastiklik moduli K bo'lgan bir jinsli suyuqlik uchun tovush tezligidan iboratdir. Shunday qilib, quvurlarda gidravlik zarba to'liqining tarqalish tezligi (10.33) formula yordamida hisoblanadi. Bu tezlik suv uchun 1435 m/s, benzin 1116 m/s, yog'lar uchun 1400 m/s deb taxminiy hisoblash mumkin. Albatta, quvurning materialiga qarab u ko'proq yoki kamroq bo'ladi.

10.4. Teskari gidravlik zarba haqida tushuncha

Agar jo'mrak to'liq yopilmasa va suyuqlikning tezligi butunlay so'nmasa hamda u $\varnothing_0$ dan $\varnothing$ ga kamaysa, bunda chala gidravlik zarba hosil bo'ladi. Bunday zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p_3 = \rho(v_0 - v)\alpha \quad (10.35)$$

Bu formula jo'mrakning bir onda (juda tez) yopilgan holi uchun to'g'ri bo'ladi. Agar jo'mrakning yopilish vaqtini t_3 desak va gidravlik zarbaning jo'mrakdan idishga horib, undan qaytib kelish vaqtini t_0 desak, u holda

(10.30)

(10.31)

(10.32)

(10.33)

(10.34)

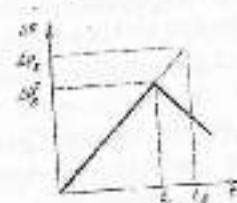
bo'lganda kranning yopilishi oniy bo'lgan deb qarash mumkin. Bunda t_0 gidravlik zarbaning fazasi deyiladi, zarbaning o'zini esa to'g'ri gidravlik zarba deyiladi. $t_3 > t_0$ bo'lganda esa teskari gidravlik zarba deyiladi va zarba to'liqini kran butunlay yopilib ulgurmasidan oldin idishdan qaytib jo'mrakka yetib keladi. Tabiiyki bu holda bosimning ortishi Δp_3 to'g'ri zarba holidagi Δp_3 ga qaraganda kichik bo'ladi.

Agar oqim tezligi jo'mrak yopilishiga qarab kamayib boradi, bosim esa vaqt bo'yicha chiziqli ortadi deb hisoblasak (9.5-rasm), u holda

$$\frac{\Delta p'_3}{\Delta p_3} = \frac{t}{t_3}$$

munosabat o'rinli bo'ladi. Bundan:

$$\Delta p'_3 = \Delta p_3 \frac{t}{t_3} = \rho v_0 \alpha \frac{2l}{\omega t_3} = \frac{2\rho v_0 l}{t_3} \quad (10.36)$$



10.5-rasm. To'g'ri va noto'g'ri zarbada bosimning ortishi.

Shunday qilib, teskari gidravlik zarba bosimi $\Delta p'_3$, to'g'ri gidravlik zarba bosimi Δp_3 dan farqli ravishda quvurning uzunligiga bog'liq, α tezlikka bog'liq emas.

Tupiksimon quvurlarda zarba bosimi ikki baravar ortib ketadi. Bu hodisani 10.6-rasm yordamida tushuntiramiz. Boshlang'ich bosimi p_0 bo'lgan suyuqlikka to'la quvur katta $p_1 = p_0 + 2\Delta p_3$ bosimli bo'lgan quvurdan jo'mrak yordamida ajratilgan bo'lsin. Jo'mrak ochilishi bilan quvurda bosim $\Delta p_3 = p_1 - p_0$ miqdorga keskin ortadi, quvurdagi suyuqlikning tezligi esa noldan v_0 ga ortadi. Buning natijasida hosil bo'lgan zarba to'liqini α tezlik bilan quvurning ikkinchi uchi tomonga qarab harakat qiladi (10.6-rasm, a).



10.6-rasm. Noto'g'ri gidravlik zarbani tushuntirishga doir chizma.

N. E. Jukovskiy formulasidan:

$$\beta_1 = \frac{\Delta p}{\rho a}$$

Zarba to'liqini tupiksimon quvurning oxiriga kelganda butun quvur bo'yicha bosim Δp ga ortadi, tezlik esa quvur oxirigacha Δv qiymatga ega bo'ladi. Suyuqlik bundan nariga oqa olmagan uchun uning tezligi so'nib, kinetik energiyasi, yangi qo'shimcha zarba to'liqining hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Yangi zarba to'liqining bosimi ham, N. E. Jukovskiy formulasiga asosan $\Delta p_1 = \rho \Delta v$ bo'lib, quvurdagi bosimning umumiy oshishi $2\Delta p$ ga teng bo'ladi (10.6-rasm, b), suyuqlikning tezligi esa $v = 0$ bo'ladi.

Quvurning ikkinchi uchida yana bir idish bo'lsa (bu kuch gidrosilindrlarida bo'ladi), u holda ikkinchi zarba to'liqini kichikroq bo'lib, bosimning umumiy ortishi $2\Delta p$ dan kichik bo'ladi.

Ikkinchi idish hajmi juda katta bo'lsa, ikkinchi zarba to'liqini deyarlik bo'lmaydi. Zarba bosimining ikki baravar ortish holi kuch gidrosilindrlarini yuqori bosimli suyuqlikka keskin tutashtirilgan hollarda sodir bo'ladi, bunga sabab gidrosilindrdagi suyuqlik miqdori (porshen silindr tubiga taqalgan bo'ladi) juda kam bo'lib, tupiksimon quvurga o'xshagan bo'ladi. (10.23) formula bir qancha taxminlardan foydalanib chiqarilgan, ya'ni suyuqlik va quvur deformatsiyasiga Guk qonuni o'rinli, ishqalanish kuchi va boshqa turlardagi energiyaning tarqalishi yo'q, quvur kesimida tezlik bir tekis tarqalgan deb qabul qilinadi. Tajribalar ko'rsatishicha, agar suyuqlikda havo pufakchalari aralash bo'lmasa va ρ bosim juda katta bo'lmasa, yuqorida aytilgan taxminlarga qaramay N. E. Jukovskiy formulasi amaliy hisoblashlarga juda yaqin keladi. Boshlang'ich bosim katta bo'lganida Δp ning (10.23) formula yordamida hisoblangan qiymatidan tajriba natijalari 10–20% dan ko'p ortiq bo'ladi. Bunga sabab katta bo'lgan suyuqlikning elastiklik moduli K , demak, a tezlik ortadi. Bundan ko'rinadiki, Guk qonunidan chetga chiqish, ya'ni deformatsiyaning chiziqliligi buzilishi sodir bo'ladi. Hozirgi vaqtda gidrosistemalarda tez ishlaydigan boshqarish uskunalari (elektromagnit jo'mraklar va h.) qo'llanishi sababli, ularning ishga tushish vaqti juda qisqa (taxminan 0,008–0,002 s) bo'lib, Δp juda katta qiymatlar (bir nisha va hatto o'nlar m/m²) ga erishadi. Bosimning bunday ortishi gidrosistemalar ayrim bo'laklarining ishdan chiqishiga sabab bo'ladi. Bundan tashqari, gidravlik zarbada bosim impulslari butun gidrosistema bo'yicha tarqalib, uning ayrim boshqaruv qurilmalari (bosim relei, gidroqulflar va h.) ning to'sardan ishlay

ishlashiga sabab bo'ladi. Bunday hollarda gidravlik zarbaga qarshi kurash usullaridan foydalanish kerak bo'ladi.

10.5. Gidravlik zarbani susaytirish usullari

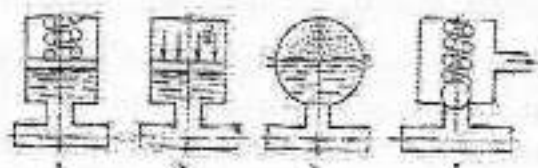
Gidravlik zarba ta'sirini susaytirish turli usullar bilan amalga oshiriladi.

Birinchi usul – jo'mrakning keskin ochilish yoki yopilish vaqti t ni susaytirib, $t > \frac{2l}{a}$ ga yetkazish yo'li bilan to'g'ri gidravlik zarbani yo'qotib, uni kamaytirish. Bu ish, odatda, drosselli rele yordamida bajariladi. Odatda, jo'mrakning holati (ochiq yoki yopiq) o'zgaririlganda suyuqlik quvurga rele orqali o'tgani uchun uning sarfi (demak, tezligi) prujinali klapanlar yordamida asta-sekin o'zgarib, ma'lum vaqtdan keyin kerakli qiymatga yetadi. Tajribalarning ko'rsatishicha, quvurlarni zarbasiz tutashurish bosimning o'zgarishi 22 MH/m² atrofida va $\rho \approx 0,8$ bo'lganda shuncha ta'minlanadi.

Ikkinchi usul quvurlarga gidravlik zarbani so'ndirgich (kompensator)lar o'rnatish. So'ndirgichlar quvurdagi suyuqlikka nisbatan yuqori siqiluvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan elastik elementli idishlar bo'lib, turli konstruktiv uzilishga ega (10.7-rasm). Eng ko'p tarqalgan so'ndirgichlar elastik elementi prujina (10.7-rasm, a) va gaz (10.7-rasm, b) bo'lgan porshenli, membranali (10.7-rasm, b) va klapanli (10.7-rasm, g) so'ndirgichlardir. So'ndirgichlar, odatda, zarba tug'diruvchi (jo'mrak) yoki zarbadan himoyalovchi qism yoniga o'rnatiladi. Ular yordamida zarba bosimining kamayishi so'ndirgichga suyuqlik oqimi bilan birga kelgan kinetik energiyaning elastik elementlar tomonidan yutilishi hisobiga amalga oshadi. So'ndirgichning elastik elementi qancha ko'p deformatsiyalansa, yutilgan energiya ham shuncha ko'p bo'ladi. Shuning uchun elastik elementning elastiklik xarakteristikasi imkon bergan chegarada mumkin bo'lgan deformatsiyaning o'zgarish bo'lishiga harakat qilish kerak bo'ladi. Bu esa gazli so'ndirgichlarda gaz bo'lmasligini shunday tanlab olishni taqozo qiladiki, zarba to'liqining yutilishida bosimning o'zgarishi minimal bo'lishi kerak. Amalda bunday so'ndirgichlarda gaz bo'lmasining hajmi quvurdagi suyuqlikning ikki sekundlik sarfiga teng qilib olinadi, boshlang'ich bosimi esa magistraldagi maksimal bosimdan ko'proq bo'lishi zarur.

Porshenli so'ndirgichlarning kamchiligi ularning inertligi bo'lib, bu porshenning massasi va ishqalanish kuchiga bog'liqligi va unga quvur bilan

so'ndirgichni tutashiruvchi kanaldagi suyuqlikning inertligi qo'shiladi. Bu kuchlar zarba to'liqining so'ndirgich porsheniga ta'siri natijasida garmonik tebranish vujudga kelishiga sabab bo'ladi va natijada so'ndirgich hamda quvurdagi bosim tebranishi qo'shilib, kanaldagi bosim zarba bosimidan ostib ketishi



10.7 - rasm. Turli so'ndirgichlar.

mumkin. Natijada so'ndirgich zarba energiyasini yutish o'rni-ga kuchaytirishi mumkin. Inertlikni kamaytirish maqsadida so'ndirgichni gaz va suyuqlikni ajratuvchi elastik membrana bilan ta'minlanadi (10.7-rasm, v). Yuqorida aytilganidek, so'ndirgichda tebranma harakatning bo'lishi va zarba to'liqining kuchayishiga quvur bilan so'ndirgichni tutashiruvchi kanalning uzunligi va diametrining ta'siri bor ekanligi tajribalarda tekshirilgan. Shuning uchun kanalning uzunligini va diametrini to'liqlarga kamroq ta'sir qiladigan qilib tanlab olinadi. Zarba to'liqlarini klapanli so'ndirgichlar (10.7-rasm, g) yordamida ham susaytirish mumkin. Bu holda klapan va energiyani yutuvchi elastik elementlarining inertligini iloji boricha kamaytiriladi.

Klapanli susaytirgichga kirgan suyuqlikning elastik elementga ta'sirini kamaytirish va uning yaxshiroq ishlashini ta'minlash uchun suyuqlikning atmosferaga oqib ketishiga xizmat qiluvchi qismi bo'ladi.

Uchinchi usul – gidravlik zarba paydo bo'lishi kutiladigan quvurning uzunligini oshirish. Bu holda qarshilik kuchining hisobiga energiya kamayishi va zarba to'liqini davrining ortishi natijasida to'g'ri zarbani yo'qotish yo'li bilan zarba to'liqining ta'siri kamaytiriladi

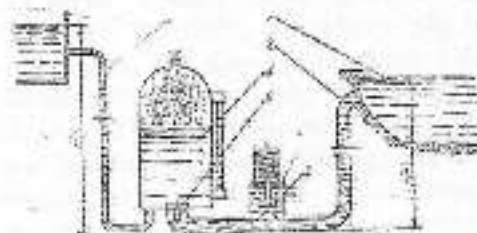
10.6. Gidravlik zarbadan amalda foydalanish

Texnikada ba'zi hollarda gidravlik zarbadan foydalanish ham mumkin. Masalan, gidravlik zarba energiyasidan suyuqliklarni yuqoriga ko'tarish uchun foydalaniladi. Shu maqsadda ishlatiladigan qurilma *gidravlik taran* deyiladi.

Gidravlik taranning tuzilishi juda sodda bo'lib, uning asosiy qismlari havo qalpog'i va xubarchi klapanidan iboratdir (10.8- rasm).

Ta'minlovchi idish 1 dan quvur 2 orqali oqayotgan suyuqlik klapan 3 orqali oqayotgan bo'ladi.

Gidrotaran ish siklining bu davri tezlanish davri deyiladi. Klapan 5 ga kirishda oqimning kesimi torayib boradi (tirqish 4) va Bernulli prinsipiga asosan suyuqlikning tezligi ortib, bosimi kamayib boradi. Natijada kesimning eng toraygan yerida bosim shunchalik kamayadiki, klapan 3 prujinaning qarshiligini yengib, tirqish 4 ni yopib qo'yadi. Bu yopilish bir onda (sekundning kichik ulushlarida) bo'lgani uchun sistemada gidravlik zarba tarqaladi. Gidravlik zarba bosimi ta'sirida klapan 6 ochilib, havo qalpog'iga suyuqlik zarb bilan kiradi va undagi havoni siqadi. Shu bilan birga zarba kuchi suyuqlikning bir qismini haydash quvuri 7 orqali qabul qiluvchi idish 8 ga chiqarib beradi. Gidrotaran ish siklining bu davri haydash davri deyiladi. Zarba bosimi havo qalpog'ida so'nib va quvurda ta'minlovchi idishdagi sath balandligi H_1 bilan ifodalanuvchi normal bosim tiklanadi yoki teskari zarba hosil bo'lib, quvurda bosim kamayadi. Natijada klapan 3 ochilib, gidrotaranda sikl yana takrorlanishi uchun sharoit vujudga keladi. Gidrotaranlarni hisoblashda foydali ish ko'effitsiyentini aniqlash uchun Eytelveyn quyidagi formulani taklif qilgan



10.8-rasm. Gidravlik taran.

$$\eta = 1.12 - 0.2 \sqrt{\frac{H_2 - H_1}{H_1}}$$

(10.37)

bu yerda H_1 , H_2 - ta'minlovchi va qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathining balandligi.

Ba'zida zarba bosimi η ni kamaytirishdan ko'ra sistemaning zaif qismlarining mustahkamligini oshirishni afzal ko'riladi.

X bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsiya bosimi hisobga olingan boqaror harakati.
2. Gidravlik zarba hodisasi.
3. To'g'ri zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi.
4. Gidravlik zarbadan amalda foydalanish.
5. Gidravlik taran.

XI BOB. OQIMNING DEVORLAR BILAN O'ZARO TA'SIRLASHUVI

Quvurda oqayotgan suyuqlik undan chiqqandan keyin ham o'z harakatini davom ettiradi. Quvurdan chiqqan bunday oqimcha biror to'siqqa uchrasa, o'z shaklini o'zgartirib, to'siqni aylanib oqib o'tishga intiladi. Bunday harakatlarni tekshirish texnikada muhim ahamiyatga ega bo'lib, mashinalarni hisoblash, gidromashinalarning boshqaruv apparatlari, suyuqlarni oqimcha bilan buzish va boshqa ishlarda qo'llaniladi.

11.1. Oqimchaning to'siqlarga ta'siri

Oqimchaning o'z yo'lida uchragan to'siqqa ta'siri uning ta'sir etuvchi kuchi bilan baholanadi. Bu kuch oqimchaning tezligi, uning ko'ndalang kesimi o'lchamlari, to'siqning shakli va o'lchamlariga bog'liq. Bu masalaning to'g'ri yechilishini D. Bernulli ko'rib chiqqan bo'lib, uning ichi oqimchaning dinamik xarakteristikalarini tekshirishga asos bo'ldi. Biz quyida D. Bernulli qo'llagan yo'ldan borib, oqimchaning to'siqqa ta'siri kuchini aniqlash uchun harakat miqdorining saqlanish qonunidan foydalanamiz. Umumiy holda oqimchaning yo'nalishiga simmetrik joylashgan qo'zg'almas to'siqqa ta'sir qiluvchi kuchini aniqlashdan boshlaymiz (11.1-rasm). Bu holda oqimcha to'siq bo'ylab x-x o'qiga nisbatan α burchak ostida, ikki tomonga tarqaladi. Uning simmetrikligini hisobga olib, ikkala yo'nalishda tezlik va sarflar teng deb hisoblash mumkin. Oqimchada 1, 2 va 3 kesimlar bilan chegaralangan hajm olamiz. Bu hajm dt vaqt o'tganidan keyin oqimchaning yangi holatda 1, 2, 3 kesim bilan chegaralangan bo'ladi. Harakat miqdorining o'zgarishi kuch impulslarining yig'indisiga teng bo'ladi. Bu qonunni yuqorida aytilgan hajmga qo'llasak, u holda va kesim orasidagi massa (m_1) uchun harakat miqdori, 2 va 2' kesimlar orasidagi massa (m_2) uchun va 3 va 3' kesimlar orasidagi massa (m_3) uchun esa m_1u_1 ekanini hisobga olgan holda x-x o'qi bo'yicha harakat miqdorining o'zgarishi qonunidan quyidagi tenglikka ega bo'ladi.

$$m_2u_2 \cos \alpha - m_3u_3 \cos \alpha - m_1u_1 = -Rdt \quad (11.1)$$

bu yerda R — oqimchaga devorning reaksiya kuchi.

Ko'rilayotgan hajmi uchun $m_2 = m_3$, $u_2 = u_3$ ni nazarga olib, bu tenglikni quyidagicha yozamiz:

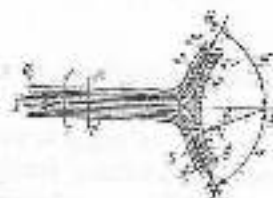
$$2m_2 \cos \alpha - m_1 u_1 = -R \Delta t \quad (11.2)$$

Yuqorida aytilganga asosan, to'siqning simmetrikligidan $m_1 = 2m_2$ ekanligi ko'rinadi. Bu holda (11.2) tenglamani bunday ifodalaymiz:

$$R \Delta t = m_1 u_1 (1 - \cos \alpha) \quad (11.3)$$

Ikkinchi tomondan,

$$m_1 = \rho q \Delta t = \frac{\rho Q}{g} \Delta t$$



11.1-rasm. Oqimchanning to'siqqa urilishi.

bo'lganligi uchun

$$R \Delta t = \frac{\rho Q}{g} u_1 (1 - \cos \alpha) \Delta t \quad (11.4)$$

Shunday qilib, oqimchaga devorning reaksiya kuchini quyidagi formula bilan hisoblash mumkin:

$$R = \frac{\rho Q}{g} u_1 (1 - \cos \alpha) \quad (11.5)$$

Oqimchanning devorga ta'sir kuchi esa reaksiya kuchiga teng va teskari yo'nalgan bo'lib, $q = d\cos \alpha$ ni hisobga olsak, quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = \frac{\rho Q^2}{g} d \cos \alpha (1 - \cos \alpha) \quad (11.6)$$

11.2. Oqimning devorga ta'sir kuchi

Yuqorida keltirilgan oqimchanning to'siqqa bo'lgan ta'sir kuchidagi tezlikni o'rtacha tezlik V bilan, elementar yuz $d\omega$ ni oqimning yuzasi ω bilan almashirsak, oqimning devorga ta'sir kuchi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$P = \frac{\rho V^2}{g} \omega \quad (11.7)$$

Bu formula o'lchamlari katta bo'lmagan dumaloq plastinka (11.2-rasm, a) va yarimsfera (11.2-rasm, b) uchun ham to'g'ri. Agar devor bilan oqim yo'nalishi orasidagi burchak $\alpha = 90^\circ$ bo'lsa (11.2-rasm, v), u holda (11.7) formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

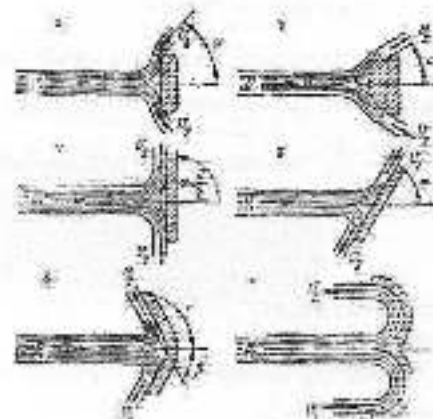
$$P = \frac{\rho V^2}{g} \omega \quad (11.8)$$

Devor oqim chiqayotgan teshikka juda yaqin bo'lganda oxirgi formulaga oqimning teshikdan yoki naychadan oqib chiqish formulasini qo'yish mumkin.

$$\theta = \alpha \sqrt{2gH} \quad (11.9)$$

Tezlik koeffitsientini taxminan birga teng deb qabul qilsak, u holda bo'ladi.

$$P = 2d\theta \omega \quad (11.10)$$



11.2-rasm. Oqimning devorga urilishning turlari.

Demak, bu holda oqimning devorga ta'sir kuchi asosiy oqim kesmiga, balandligiga ikkilangan tezlik bosimga teng bo'lgan suyuqlik ustuni og'irligiga teng.

Agar burchakka 90 dan ortiq bo'lsa (11.2-rasm, d), $180-\alpha$ ni β bilan belgilab, (11.7) formulani quyidagicha yozamiz:

$$P = \frac{\rho V^2}{g} \omega (1 + \cos \beta) \quad (11.11)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, α burchagi ortishi bilan oqimning devorga bosimi ortadi. Devorga tushadigan maksimal bosim suyuqlik to'liq orqaga qaytganda yoki $\alpha = 183^\circ$ ($\beta = 0$) da yuzaga keladi

$$P = \frac{2\gamma\theta^2}{g} \omega \quad (11.13)$$

ya'ni bu holda devorga tushadigan bosim oqimning perpendikulyar tekislikka ta'sir kuchidan ikki baravar katta bo'ladi.

Bu hodisa texnikada cho'michli turbinalarda qo'llaniladi, ya'ni turbinaning cho'michini oqimni 180° o'qaga qaytaradigan qilib loyihalanadi. Oqim uning yo'nalishiga α burchak ostida qo'yilgan tekis devorga urilganda esa (11.3- rasm, g) bosim quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = \frac{\gamma\theta^2}{g} \omega \sin \alpha \quad (11.14)$$

Bu holda oqimning devorga zarbasi qiya zarba deyiladi. Devorga tushadigan normal bosim esa bunday hisoblanadi:

$$P_N = P \sin \alpha = \frac{\gamma\theta^2}{g} \omega \sin^2 \alpha \quad (11.14)$$

Agar devor oqimga yoki qarama-qarshi tomonga qarab biror θ' tezlik bilan harakat qilsa, unda birinchi holda oqimchaning tezligi $\frac{\theta + \theta'}{\theta}$ nisbatda ortib, ikkinchi holda esa $\frac{\theta - \theta'}{\theta}$ nisbatda kamayadi. Bu hollarda bosim ham tegishli miqdorda ortadi yoki kamayadi:

$$P = \frac{\gamma(\theta \pm \theta')^2}{g} \omega.$$

XI bob bo'yicha nazorat savollari:

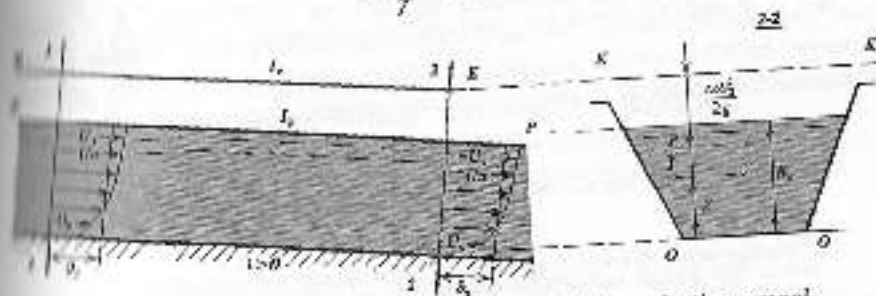
1. Oqimning devorga ta'sir kuchi.
2. Oqimning devorga urilishning turlari.
3. Oqimchaning to'siqlarga ta'siri.

XII BOB. OCHIQ O'ZANLARDA (KANALLARDA) SUYUQLIK OQIMINING BARQAROR TEKIS HARAKATI

12.1. Suv oqimining tekis harakatini hisoblash formulalari

Suv oqimining barcha tirik kesimlarida tezlik o'qurasi bir xil yuzaga va bir xil shaklga ega bo'lsa, bunday oqim harakati *tekis harakat* deyiladi. Tekis harakatda suyuqlik qatlamlari o'zaro parallel harakat qilishiga ega bo'ladi va tirik kesimning turli nuqtalari uchun Z va $\frac{P}{\gamma}$ ning qiymatlari turlicha, ammo ularning yig'indisi o'zgarmasdir (12.1- rasm).

$$Z + \frac{P}{\gamma} = \text{const}$$



12.1- rasm. Suv oqimining kanaldagi tekis harakati sxemasi.

Tekis harakat alomatlari:

- 1) $\alpha = \text{const}_{(l)}$
- 2) $\theta = \text{const}_{(l)}$

Tekis harakatning asosiy tenglamasi

$$h_c = \frac{\tau \cdot l}{\gamma \cdot R}$$

bu yerda: τ - ichki ishqalanish kuchi;

γ - solishtirma og'irlik;

l - kanal uzunligi;

R - gidravlik radius.

Shezining taklifiga ko'ra tekis harakatda τ/γ kattalik tezlik kvadratiga proporsional

$$\frac{r}{\gamma} = \frac{1}{C^2} \beta^2,$$

yoki

$$h_s = \frac{\beta^2 l}{C^2 R^2}.$$

Bu ifodada $C = \sqrt{\frac{8}{f}}$ ekanligini inobatga olsak, Darsi-Veysbax tenglamasi hosil bo'ladi.

Keyingi ifodani tezlikka nisbatan yozsak, quyidagi formula hosil bo'ladi:

$$\beta = C \sqrt{R \cdot I}$$

bu yerda $I_s = \frac{h}{l}$ - gidravlik nishablik.

Bu formula *Shezi formulasi* deyiladi va koeffitsiyent S - Shezi koeffitsiyenti deb ataladi. Ochiq o'zarlardagi suvning erkin sathida bosim doimiy bo'lib odatda atmosfera bosimi qaror topadi, shu sababli p'yezometrik nishablik suvning erkin sathi nishabligiga teng bo'ladi:

$$I_p = I_s.$$

Oqimning tekis harakatida $\frac{\alpha \beta^2}{2\pi}$ - ifoda o'zgarmas bo'lganligi uchun:

$$I_p = I_s.$$

Tekis harakatda oqimning chuqurligi o'zgarmas bo'lishi zarur, shu sababli faqat tekis harakatda o'zandagi barcha nishabliklar o'zaro teng bo'ladi:

$$I_s = I_p = I_s = i,$$

bu yerda i - kanal tubining nishabligi ($i = \sin \alpha$).

Oqim tekis harakati mavjudlik shartlari quyidagicha:

1. o'zanda suvning sarfi o'zgarmas $Q = \text{const}_0$;
2. o'zan uzunlik (l) bo'yicha prizmatik bo'lishi kerak (demak tirik kesim shakli va gidravlik kattaliklari o'zgarmas bo'lishi kerak);
3. oqimning chuqurligi o'zan bo'ylab o'zgarmas (l uzunlik (l) bo'yicha):

$$h = \text{const}_0;$$

4. o'zanning nishabligi o'zgarmas uzunlik (l) bo'yicha:

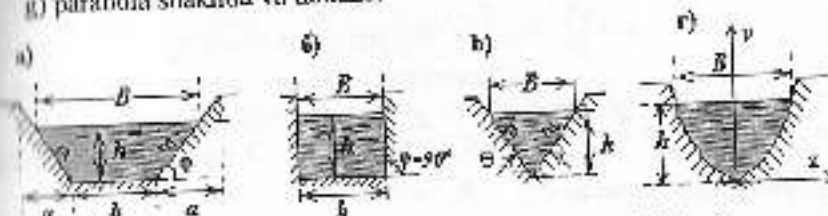
$$(i = \sin \alpha = \text{const}) \quad i > 0;$$

5. o'zanning g'adir-budirligi o'zgarmas (bir xil) uzunlik (l) bo'yicha: ($n = \text{idem}$).

12.2 Oqim harakat kesimining gidravlik elementlari

Oqim tirik kesimining shakli o'zan ko'ndalang kesimi shakliga bog'liq bo'ladi va turli xil shakllarga ega bo'lishi mumkin (12.2-rasm):

- a) trapetsiya shaklida;
- b) to'g'ri burchakli to'rtburchak shaklida;
- v) uchburchak shaklida;
- g) parabola shaklida va hokazo.



12.2- rasm. Kanallarning ko'ndalang kesim shakllari.

Bu yerda: b - o'zan tubining kengligi (eni);

B - o'zandagi suvning erkin sathidagi kengligi;

h - o'zandagi suv oqimining chuqurligi;

m - o'zan qirg'og'ining qiyaligi yoki qiyalik koeffitsiyenti,

$$m = \cot \varphi.$$

Trapetsiya shaklidagi kanalning gidravlik elementlari

1. Oqim erkin sathining kengligi (eni):

$$B = b + 2mh.$$

2. Harakatdagi (tirik) kesimning yuzasi:

$$\omega = (b + mh)h.$$

3. Kesimning ho'llangan perimetri:

$$Z = b + 2h\sqrt{1+m^2} = b + 2m'h;$$

bu formulada $m' = \sqrt{1+m^2}$.

4. Kesimning gidravlik radiusi:

$$R = \frac{\omega}{Z}.$$

Parabola shaklidagi kesimning gidravlik elementlari.

Parabolaning tenglamasi:

$$x^2 = 2py,$$

r – parabolaning parametri.

1. Erkin sathining kengligi:

$$B = 2\sqrt{2ph} = 2\sqrt{ah}; \quad a = 2p.$$

2. Tirik (harakatdagi) kesim yuzasi:

$$\omega = \frac{2}{3}h \cdot B - \frac{4}{3}h\sqrt{a \cdot h}.$$

3. Kesimning ho'llangan perimetri:

$$\chi = \frac{a}{2} \left[\sqrt{2\tau(1+2\tau)} + 2,31g(\sqrt{2\tau} + \sqrt{1+2\tau}) \right],$$

bu formulada $\tau = \frac{h}{p} = \frac{2h}{a}$ yoki $\chi = \frac{a}{2}H$, $H = f(\tau)$ - qiymatlarini quyidagi jadvaldan olish mumkin.

12.1- jadval. $P = f(\tau)$ qiymatlarining jadvali

τ	P	τ	P	τ	P	τ	P
0,001	0,09	0,15	1,15	0,55	2,44	0,95	3,48
0,005	0,20	0,20	1,34	0,60	2,58	1,00	3,61
0,01	0,28	0,25	1,54	0,65	2,71	1,05	3,72
0,02	0,40	0,30	1,71	0,70	2,83	1,10	3,84
0,04	0,51	0,35	1,85	0,75	2,97	1,15	3,97
0,06	0,71	0,40	2,02	0,80	3,10	1,20	4,08
0,08	0,82	0,45	2,16	0,85	3,23	1,25	4,19
0,10	0,93	0,50	2,30	0,90	3,34		

12.3. Kanalning ishchi xarakteristikasi

Kanalda suv sarflining suv chuqurligiga mos ravishda o'zgarish grafigiga $Q = f(h)$ kanalning ishchi xarakteristikasi deyiladi. Bu grafikni tuzish uchun suv chuqurligiga h – bir nechta qiymatlar berib, ularga mos bo'lgan suv sarflarini tekis harakatning asosiy tenglamasidan aniqlaymiz:

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{R \cdot i}, \quad (m^3/c, n/c).$$

Bu yerda:

$\omega = (b + mh)h$ – tirik (harakatdagi) kesim yuzasi, m^2 ;

b, m – kanal tubining kengligi va qiyalik koefitsiyenti;

C – Shezi koefitsiyenti, $m^{0.5}/s$;

$R = \frac{\omega}{\chi}$ – gidravlik radius, m ;

$\chi = b + 2h\sqrt{m^2 + 1}$ – ho'llangan perimetr;

i – kanal tubining rishabligi.

Shezi koefitsiyentini Manning formulasi bilan aniqlash mumkin: shuni alohida qayd etish kerakki, Shezi koefitsiyenti tajriba asosida aniqlanadi:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

bu formulada n – g'adur-hudurluk koefitsiyenti.

N.N.Pavlovskiy formulasi bilan Shezi koefitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$C = \frac{1}{n} R'$$

$y \approx 1,5\sqrt{n}$ – gidravlik radius $R > 1 m$ bo'lganda;

$y \approx 1,3\sqrt{n}$ – gidravlik radius $R < 1 m$ bo'lsa.

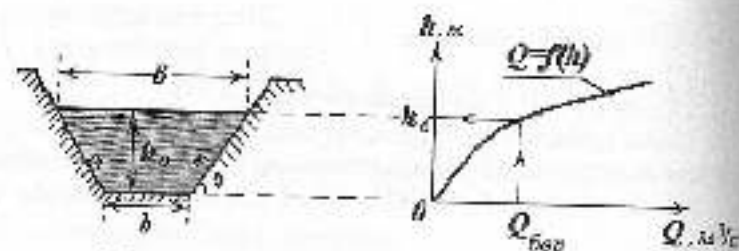
Shezi koefitsiyentini quyidagi grafiklardan foydalanib aniqlasa ham bo'ladi: Chugayev R.R. «Gidravlika», 1975 y., 186 bet.

Hisob natijalarini jadvalda keltiramiz:

12.2 – jadval

$h, (m)$	$\omega, (m^2)$	$\chi, (m)$	$R, (m)$	$S, (m^{0.5}/s)$	$Q, (m^3/c)$
h_1					
h_2					
h_3					

Kanal uchun berilgan gidravlik element qiymatlari b, m, n, i – dan foydalanib, kanalda har bir qubul qilingan suv chuqurligi qiymatiga mos keladigan suv sarflarini aniqlab, 2- jadvalga tushuramiz va jadvaldagi ma'lumotlar asosida $Q = f(h)$ – kanal ishchi xarakteristikasi grafigini chizamiz. Bu grafikdan berilgan sarfga mos keluvchi chuqurlik h_0 qiymati tanlanadi.



12.3-rasm - Kanalning ishechi xarakteristikasi.

Gorizontal masshtab: 1 sm - « m^2/s

Vertikal masshtab: 1 sm - « m .

Izoh: Suvning chuqurligi - h - ning qiymatlari tanlanganda, hosil bo'lgan Q - sacflarning qiymatlari berilgan $Q = Q_w$ qiymatidan kichik va katta sonlar bo'lishi zarur.

Shuni alohida qayd etish kerakki, hozirgi kunda kanalning ishechi xarakteristikasi EHM yordamida ham aniqlanadi. Buning uchun maxsus dastur ishlab chiqilgan.

12.4. Parabola shaklidagi kanalning o'lchamlarini aniqlash

Parabola shaklidagi kesim uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$x^a = ay,$$

bu formulada a - parabola ko'rsatkichi;

a - parabola parametri.

Kanalning o'lchamlarini aniqlash uchun R.M. Karimov usulidan foydalanamiz (R.M. Karimov "Gidravlicheskiy raschet kanalov" yoki ilovadagi 2,3 jadvaldan, yil).

Hisob quyidagi tartibda bajariladi:

1. $0,159 \frac{Qn}{\sqrt{i}}$ ifodani hisoblab, qiymatini aniqlaymiz.

2. Jadvaldan (ilovadagi 2 - jadval) $0,159 \frac{Qn}{\sqrt{i}}$

qiymatiga mos keluvchi R_c va $\beta, \frac{n}{R_c}$ qiymatlari olinadi va a - ning qiymati aniqlanadi.

3. Parabolaning parametri « a » va ko'rsatkichi « α » jadvaldan aniqlangan R_c - qiymatlariga asosan:

$$\frac{a^{\alpha+1}}{R_c}$$

ifodaning qiymatini aniqlaymiz.

4. Ilovada (12.3-jadvaldan) quyidagi jadvalda ko'rsatilgan ifodalarning qiymatlari olinadi:

12.3 - jadval

$\beta - \frac{B}{h_c}$	$\bar{z}$	$\frac{h_c}{R_c}$	$\frac{B}{R_c}$	$\frac{a^{\alpha+1}}{R_c}$

Bu jadvalga asosan quyidagi elementlarni aniqlash mumkin: oqim erkin sathining kengligini B , oqim chuqurligini h , normal chuqurligini h_n , ko'llungan perimetрни $\chi - \frac{B}{2}$, tirik kesim yuzasini:

$$\omega = \frac{a}{a+1} \beta \cdot h_n.$$

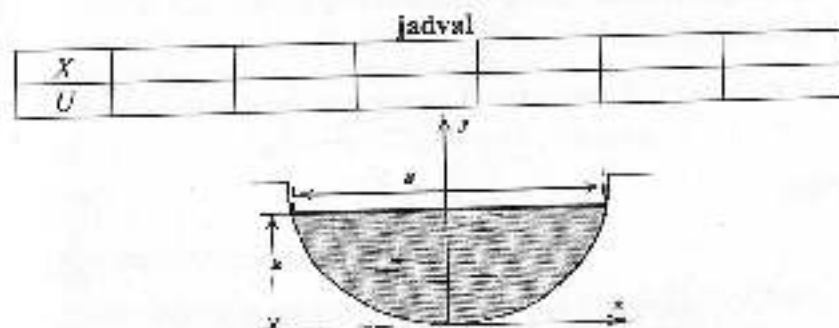
Hisob-kitoblarning aniqligi quyidagi shart bilan tekshiriladi:

$$\left(\frac{B}{2}\right)^a = a \cdot h_n.$$

5. Kanalning ko'ndalang kesimi quyidagi tenglama asosida quriladi:

$$x^a = ay$$

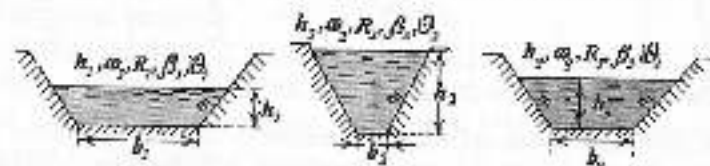
12.4



12.4-rasm - Parabola shaklidagi kanalning ko'ndalang kesimi.

12.5 Kanallarni loyihalashda vujudga keladigan ba'zi masalalarning yechish tartibi

Tabiiy tuproqda qurilgan kanallarning ko'ndalang kesimi trapetsiya, parabola va poligonal shaklida bo'lishi mumkin. Kanal ko'ndalang kesimning yuzasi harakat (jonli) kesimi faqat yarim aylana uchun bitta parametrga bog'liq. Boshqa kesimlar uchun kamida ikkita parametrlarga bog'liq. Shuning uchun shunday kanal kesimni topish mumkinki, maksimum sarfini o'tkazish imkoniyatiga ega bo'lsa, bunday kesimga gidravlik jihatdan eng maqbul (qulay) kesim (GEQK) deb ayriladi.



12.5-rasm. Kanallarning ko'ndalang kesimi.

Gidravlik hisoblashda kanalning nisbiy kengligi (kanal tubining kengligini undagi suvning chuqurligiga nisbati) degan tushuncha ishlatiladi va quyidagicha yoziladi:

$$\beta = \frac{b}{h}$$

Trapetsiya shaklidagi kanalning gidravlik elementlarini β orqali yozish mumkin:

harakatdagi kesim yuzasi: $\omega = h^2(\beta + m)$;

ho'llangan perimetr: $\chi = h(\beta + 2\sqrt{1+m^2})$;

gidravlik radius: $R = h \frac{(\beta + m)}{\beta + 2\sqrt{1+m^2}}$.

O'rta tezlikni Shezi-Manning tenglamasi orqali yozish mumkin:

$$\beta = C\sqrt{R} \cdot I = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot R^{1/3} \sqrt{I} = \frac{\sqrt{I}}{n} R^{5/3} = \frac{1}{N} R^{5/3}, \quad (12.1)$$

bu yerda

$$N = \frac{n}{\sqrt{I}}, \quad (12.2)$$

$$R = h \frac{\beta + m}{\beta + 2m'} \quad (12.3)$$

$$\text{va} \quad R^{5/3} = \left| \frac{h(\beta + m)}{\beta + 2m'} \right|^{5/3} = \left| \frac{h^2(\beta + m)}{(\beta + 2m')^2} \right|^{5/3} = \left| \frac{\omega(\beta + m)}{(\beta + 2m')^2} \right|^{5/3} = \left| \frac{Q}{\beta(\beta + 2m')^2} \right|^{5/3} \quad (12.4)$$

(4)-chi tenglamadagi qiymatni (1)-chi tenglamaga qo'ysak, quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\beta = \frac{1}{N} \left(\frac{Q}{\beta(\beta + 2m')^2} \right)^{5/3}, \quad (12.5)$$

bu yerdan

$$\beta^{11/3} = \frac{1}{N} \left(\frac{Q}{\beta + m} \right)^{5/3},$$

va

$$\beta = \frac{1}{N^{3/8}} \left(\frac{Q}{\beta + m} \right)^{5/8} = \frac{1}{N^{3/8}} \left(\frac{N^{3/8}}{\beta + m} \right)^{5/8} = \frac{1}{N} \left(\frac{Q}{\beta + m} \right)^{5/8} \quad (12.6)$$

Demak, kanaldagi berilgan Q, m, n i i uchun o'rta tezligining qiymati β qabul qilingan tub kengligiga mos keladigan harakatdagi kesim shakli bilan bog'langan (6-chi tenglamadan), yoki $\beta = f(\beta)$,

$$\text{bu yerda:} \quad \beta = f(Q, m, n, i, b) \quad (12.7)$$

$$\text{va} \quad f(\beta) = \frac{\beta + m}{(\beta + 2m')^2} \quad (12.8)$$

12.5.1 Gidravlik eng qulay (maqbul) kesim elementlarini hisoblash

Ma'lum bo'lgan Q, m, n, i uchun bir nechta ixtiyoriy o'lchamli ko'ndalang kesimlarni loyihalash mumkin har xil b va tirik (harakat) kesimlari bilan. Bu kesimlarning ichida shunday variant bo'lishi kerakki, unda oqinning ko'ndalang kesimi bo'yicha o'rta tezligi eng katta bo'lsin, ya'ni β_{max} , kanal ko'ndalang kesimining yuzasi (maydoni) esa eng kichik bo'lsin, ya'ni ω_{min} . Bu shart bajarilsa, bunday ko'ndalang kesim - kanalning *gidravlik eng qulay kesimi* deyiladi.

$$\beta = \beta_{max} = \frac{1}{N} \left(\frac{Q}{\beta_{max}} \right)^{5/3}$$

bundan

$$\beta_{max} = \left(\frac{Q \cdot N}{4M} \right)^{3/8}$$

$N = \frac{n}{\sqrt{I}}$ - Shezi-Manning parametri;

O'zan tubining kengligiga nisbatan (GEQK) ning nisbiy kengligini β_{ek} belgi bilan belgilasak, u holda:

$$\beta = \beta_{ek} = \left(\frac{h}{b} \right)_{ek} = \frac{2(\sqrt{1+m^2} - m)}{2m' - 2m}$$

$M = 2m' - m$ - quyidagi belgilashni kiritsak, yozishimiz mumkin:

$$\beta_{R,Q} = M - m.$$

Shezi - Manning tenglamasini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} = \omega \cdot \frac{1}{N} \cdot R^{1/6} \cdot R^{1/2} \cdot \sqrt{i} = \frac{\omega \cdot R^{2/3}}{N} \cdot \sqrt{i};$$

$$Q = \frac{1}{N} \omega \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i} - \text{Shezi-Manning formulasi.}$$

Gidravlik eng qulay kesimning gidravlik parametrlari:
harakatdagi kesim yuzasi:

$$\omega_{\text{opt}} = (2\sqrt{1+m^2} - m) \cdot h_{\text{opt}}^2 = (2m' - m) \cdot h_{\text{opt}}^2;$$

kanal tubining kengligi: $b_{\text{opt}} = 2 \cdot h(\sqrt{1+m^2} - m);$

kanaldagi suv chuqurligi: $h_{\text{opt}} = \frac{b_{\text{opt}}}{\beta_{\text{opt}}} = 2 \cdot \left| \frac{N \cdot Q^{1/2}}{4 \cdot M} \right| = 2 \cdot R_{\text{opt}};$

kanal sathdagi eni: $\beta_{\text{opt}} = \beta_{\text{opt}}(\beta_{\text{opt}} + 2m') \cdot \frac{R_{\text{opt}}}{\beta_{\text{opt}} + m} = 2 \cdot (M - m) \cdot \left| \frac{N \cdot Q^{1/2}}{4 \cdot M} \right|.$

12.5.2 Hidravlik mustahkam kanal uchun statistik bog'lanishlar

Kanal tubining eni quyidagi S.A.Girshkan statistik bog'lanishlari orqali aniqlanishi mumkin:

$$b_{\text{opt}} = A Q^x;$$

Agar $Q = 0.5 + 1.5 \text{ m}^3/\text{s}$, unda $b_{\text{opt}} = 1.4 Q^{0.6};$

Agar $Q = 1.5 + 50 \text{ m}^3/\text{s}$, unda $b_{\text{opt}} = 1.5 Q^{0.7};$

Agar $Q > 50 \text{ m}^3/\text{s}$, unda $b_{\text{opt}} = 1.3 Q^{0.7};$

Kanalning nisbiy eni: $\beta_{\text{opt}} = 3\sqrt[3]{Q} - m;$

Kanalning chuqurligi: $h_{\text{opt}} = 0.85 Q^{0.12}.$

AMALIY MASHG'ULOTLAR UCHUN KO'RSATMALAR

1 - masala

Trapetsiya shakldagi kanallarda Q, m, n, b va β berilgan bo'lsa, suvning chuqurligi h va kanal tubining nishabligi i aniqlansin.

Yechish tartibi:

1. Quyidagi qiymatni aniqlaymiz: $2m' = 2\sqrt{1+m^2}.$

2. Harakatdagi (tirik) kesim yuzasi: $\omega = \frac{Q}{\beta}.$

3. Kanaldagi suvning chuqurligini aniqlash uchun quyidagi tenglamadan foydalanamiz:

$$\omega = m \cdot h^2 + b \cdot h$$

unda:

$$h = \frac{1}{2m} (-b + \sqrt{b^2 + 4m \cdot \omega}).$$

4. Ho'llangan perimetr: $\chi = b + 2mh.$

5. Hidravlik radius: $R = \frac{\omega}{\chi}.$

6. Kanal tubining nishabligi: $i = \left| \frac{\beta \cdot n}{R^{2/3}} \right|^2.$

2 - masala

Trapetsiya kesimli kanallarda Q, m, n, i berilgan bo'lib, $\beta = K \cdot \beta_{\text{opt}}$ bo'lsa, oqimning tirik kesimi o'lchamlari b va h aniqlansin.

Yechish tartibi:

1. Shezi - Manning parametrining qiymatni aniqlaymiz: $N = \frac{n}{\sqrt{i}}.$

2. Quyidagini hisoblaymiz: $M = 2m' - m = 2\sqrt{1+m^2} - m.$

3. Kanaldagi maksimal oqim tezligini aniqlaymiz:

$$\beta_{\text{opt}} = \frac{1}{N} \left| \frac{N \cdot Q^{1/2}}{4M} \right|.$$

4. Kanaldagi suv oqimining o'rtacha tezligi: $\beta = 0.95 \cdot \beta_{\text{opt}}.$

5. Tirik kesim yuzasi: $\omega = \frac{Q}{\beta}.$

6. Hidravlik radius: $R = \left| \frac{\omega}{\beta} \right|^{3/2}.$

7. Ho'llangan perimetr: $\chi = \frac{\omega}{R}.$

8. Quyidagi tenglamalarning tizimidan:

$$mh^2 + bh - \omega = 0$$

$$2mh + b - \chi = 0$$

a) kanal dagi suv chuqurligi: $h = \frac{\chi \pm \sqrt{\chi^2 - 4M \cdot \omega}}{2M}$;

b) kanal tubining eni: $b = \chi - 2mh$;
yoki

$$h = \frac{\omega}{2MR} \left(1 \pm \sqrt{1 - 4M \frac{R^2}{\omega}} \right)$$

bu formulada $1 - 4M \frac{R^2}{\omega} \geq 0$ sharti bajarilishi lozim.

Izoh: h va b - ning ikkita qiymati bo'lishi mumkin:

Agar $\left(\frac{m}{2m'}\right)^2 < \frac{R^2}{\omega} < \frac{1}{4M}$ bo'lsa, birinchi h va b ,

va $\frac{R^2}{\omega} < \left(\frac{m}{2m'}\right)^2$ bo'lsa, ikkinchi h va b .

3 - masala

Trapetsiya kesimli kanallarda Q, m, n, i berilgan bo'lib, $R = K \cdot R_{\text{min}}$ bo'lsa, oqimning tirik kesimi o'lchamlari h va b aniqlansin.

Yechish tartibi:

1. Shezi-Manning parametrlari aniqlaymiz: $N = \frac{n}{\sqrt{i}}$.
2. Quyidagi qiymatni aniqlaymiz: $M = 2m' - m$.
3. Gidravlik radiusning maksimal qiymatini hisoblaymiz:

$$R_{\text{max}} = \left| \frac{N \cdot Q^{\frac{2}{3}}}{4M} \right|^{\frac{3}{2}}$$

4. Kanaldagi gidravlik radius: $R = K \cdot R_{\text{max}}$.
5. O'zandagi suv oqimining o'rtacha tezligi: $\theta = \frac{R^{\frac{2}{3}}}{N}$.
6. Tirik kesim yuzasi: $\omega = \frac{Q}{\theta} = (b + mh) \cdot h$.
7. Ho'llangan perimetri: $\chi = \frac{\omega}{R} = b + 2h \sqrt{m^2 + 1}$.

8. Kanaldagi suv oqimining chuqurligi: $h = \frac{\chi + \sqrt{\chi^2 - 4M \cdot \omega}}{2M}$.

9. Kanal tubining eni: $b = \chi - 2mh$.

4 - masala

Trapetsiya kesimli kanallarda Q, m, n, i belgilangan bo'lib, β ning quyidagi ifodalari asosida $\beta_r = 3\sqrt[3]{Q - m}$, $\beta_s = 2.5 + \frac{m}{2}$, $\beta_{\text{av}} = M - m$, oqimning tirik kesimi o'lchamlari b va h topilsin.

Yechish tartibi:

1. Shezi-Manning parametrlari aniqlaymiz: $N = \frac{n}{\sqrt{i}}$.
2. Kanal nisbiy kengligini aniqlaymiz: $\beta_r = 3\sqrt[3]{Q - m}$.
3. Gidravlik radius: $R = \left| \frac{N \cdot Q^{\frac{2}{3}}}{(\beta + m)^{\frac{2}{3}}} \right|^{\frac{3}{2}}$.
4. Tirik kesim yuzasi: $\omega = R^2 \frac{(\beta + 2m)^2}{\beta + m}$.
5. Kanaldagi suv chuqurligi: $h = \frac{\omega}{\beta + m}$.
6. Kanal tubining eni: $b = \beta \cdot h$.

5 - masala

Parabola shaklidagi kanalning suv chuqurligi aniqlansin, agar $Q = 9.8$ m³/c, $\alpha = 2$, suv kanal quyidagi tenglama bilan yozilgan bo'lsa: $x^2 = 2py$ bu yerda $2p = 39$.

Yechish: Kanaldagi suv sathining suv chuqurligiga mos ravishda o'zgarish grafigini $Q = f(h)$ quramiz. Bu grafikni tuzish uchun suv chuqurligiga h - bir nechta qiymatlar berib, ularga mos bo'lgan suv sathlarini quyidagi tartibda aniqlaymiz:

1. Kanal sathidagi kengligi $b = 2\sqrt{2pk}$.
2. Harakatdagi kesim yuzasi $\omega = \frac{2}{3} h \cdot b$.

3. Ho'llangan perimetri $\chi = p \cdot \pi$, bu yerda $\pi = f(\frac{h}{p})$,
shu kitobning 1-jadvalidan olinadi.

4. Mos keladigan suv sarfini aniqlaymiz:

$$Q = \frac{C}{N} R^{2/3}$$

bu yerda

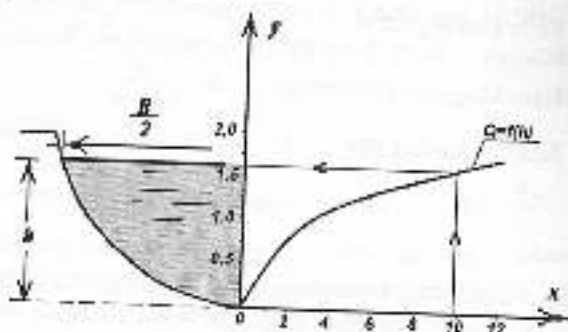
$$N = \frac{\eta}{\sqrt{i}}$$

Hisoblash natijalarini 12.5-jadvalda keltiramiz

12.5 - jadval

h m	V m	ω m ²	$\frac{h}{p}$	p	χ m	R m	$R^{2/3}$	Q m ³ /s
1,25	12,04	10,03	0,086	0,85	12,33	0,814	0,872	5,76
1,50	13,19	13,19	0,103	0,04	13,63	0,968	0,968	8,30
1,75	14,25	14,25	0,121	1,03	14,94	1,112	1,073	11,73

Jadvaldagi qiymatlar asosida kanal ishchi xarakteristika grafigini $Q = f(h)$ quramiz.



Berilgan sarf $Q=9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ga mos keladigan suv chuqurligi $h=1,6 \text{ m}$.

XIII BOB. OCHIQ O'ZANLAR - KANALLAR GIDRAVLIK ELEMENTLARINI HISOBLASH

13.1. Kanaldagi ruxsat etilgan tezliklar

Kanallarni loyihalashda kanaldagi o'rtacha tezlik ma'lum qiymatga ega bo'lishi lozim. Kanalda ruxsat etilgan tezlik quyidagicha bo'lishi kerak:

$$\beta_1 < \beta < \beta_m$$

Bu yerda:

β_1 - loyqa bosish tezligi (loyqa bosmaslik tezligi) - kanalda ruxsat etilgan tezlikning eng kichik (β_{min}) qiymati, ya'ni loyqa bosmaydigan tezlik;

β_m - yuvilish tezligi (yuvilmaslik tezligi) - kanalda ruxsat etilgan tezlikning (maksimum) eng katta qiymati, ya'ni yuvilmaydigan tezlik.

13.2. Yuvilmaydigan magistral kanalni loyihalash

a) *Qurilish me'yori va qoidalarini (QM va Q) asosida kanalni loyihalash.*

Loyihalash tartibi:

Kanal asosini tashkil qiluvchi tuproq (berilgan C yoki d_{av}) va kanalning sarfiga mos keluvchi g'adir-budurlik koeffitsienti " n " va qiyalik koeffitsientini " m " -QM va Q-2.06.03.97 asosida aniqlaymiz (ilova, 5-7-chi jadvallar).

Magistral kanal tubining kengligini S.A.Girshkan formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$b_0 = A Q^x$$

Agar $Q < 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bo'lsa, $A=1,4$; $x=0,85$;

Agar $Q = (1,5 \dots 50) \text{ m}^3/\text{s}$, $A=1,5$; $x=2/3$;

Agar $Q > 50 \text{ m}^3/\text{s}$ bo'lsa, $A=1,3$; $x=2/3$.

Aniqlangan b_0 qiymatini eng yaqin bo'lgan b_n standart qiymatigacha yaxlitlanadi.

Standart qiymatlar b_n :

0,2m; 0,4 m; 0,5 m; 0,6 m; 0,8 m; 1,0 m; 1,2m; 1,5 m; 1,8 m; 2,0 m; 2,5 m; 3,0 m; 3,5 m; 4,0 m; 5,0 m; 6,0 m va hokazo har 1 m-dan.

XII bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Suv oqimining tekis harakatini hisoblash formulalari.
2. Oqim harakat kesimining gidravlik elementlari.
3. Kanalning ishchi xarakteristikasi.
4. Parabola shaklidagi kanalning o'lchamlarini aniqlash.
5. Kanallarni loyihalashda vujudga keladigan ba'zi masalalarning yechish tartibi.

QM va K dan kanal tuprog'iga mos keluvchi oqim chuqurligining bir nechta qiymatlari uchun ($h=0,5; 1,0; 3,0; 5,0$ m) ruxsat etiladigan yuvilmaydigan oqim tezliklarining qiymatlarini " ϑ_w " yozib olamiz (ilova, 8-10 jadvallar).

Suvning o'rtacha tezliklari QM va Q - da berilgan har bir suv chuqurligi uchun ($h=0,5; 1,0; 3,0; 5,0$ m) quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

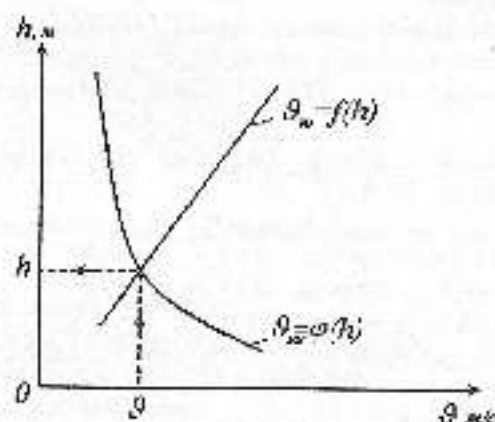
$$\vartheta_w = \frac{Q}{\omega}; \quad \omega = (b + m \cdot h) \cdot h,$$

Hisoblarini jadval ko'rinishida yozamiz:

13.1- jadval

h, m	$\vartheta_w, m/s$	ω, m^2	$\vartheta_{cr}, m/s$
0,5			
1,0			
3,0			
5,0			

QM va Q bo'yicha ulingan suv tezliklari $\vartheta_w = f(h)$ va formula yordamida hisoblangan suvning o'rtacha tezligining suv chuqurligiga bog'liqlik $\vartheta_{cr} = \varphi(h)$ grafiklari quriladi. Ikkala grafikning kesishish nuqtasiga mos keluvchi tezlik - ϑ - kanalda yuvilmaydigan suv tezligi aniqlanadi.



13.1- rasm. Kanalda yuvilmaydigan tezlikni aniqlash grafigi

Grafikdan ulingan suv tezligi ϑ va suvning chuqurligi h asosida kanal tubining nishahligi quyidagi formulada hisoblanadi:

$$i = \frac{\vartheta^2}{C^2 R^2}$$

b) A.A.Cherkasov usuli bilan loyihalash

O'zandagi ruxsat etiladigan yuvilmaydigan oqim tezligining qiymati A.A.Cherkasov formulasiga asosan aniqlanadi:

$$\vartheta_{ps} = \vartheta_0 R^{1/3}$$

Bu yerda: ϑ_0 - tuprog' turiga bog'liq bo'lgan eng yuqori yuvilmaydigan tezlikning gidravlik radius $R = 1$ m bo'lgandagi qiymati, jadvaldan olinadi.

Yechish tartibi:

1. Kanalda suv sarfi va tuprog' turiga mos keluvchi ϑ_0, m, n qiymatlari jadvaldan yozib olinadi (ilovada: 5-11 jadvallar).

2. Kanal tubining kechligi S.A.Girshkan formulasida yordamida aniqlanib, unga eng yaqin bo'lgan standart qiymatgacha yaxlitlanadi:

$$b = AQ'.$$

3. Kanalning nishahliligini va suvning chuqurligini aniqlashda ikkita tenglamani birgalikda yechishga to'g'ri keladi. Cherkasov formulasida bo'yicha suv sarfi:

$$Q = \omega \cdot \vartheta_0 \cdot R^{1/3} \quad (13.1)$$

Shezi-Manning tenglamasidan:

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{R \cdot i} = \frac{\omega \cdot R^{2/3} \sqrt{i}}{n} \quad (13.2)$$

1 va 2 tenglamalarni h - ning funksiyasi sifatida yozib olamiz:

$$\frac{Q}{\omega} = \vartheta_0 \cdot R^{1/3}$$

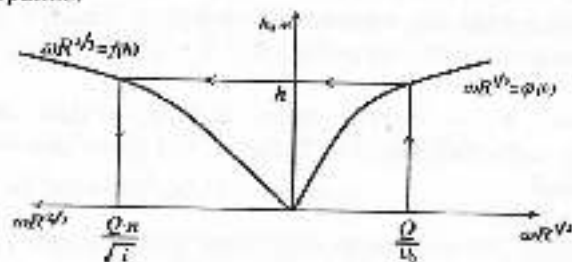
$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = \omega \cdot R^{2/3}$$

h -ga ixtiyoriy qiymatlar berib $\omega \cdot R^{1/3} = f(h)$ va $\omega \cdot R^{2/3} = \varphi(h)$ funksiyalarini hisoblaymiz. Hisobni jadvalda keltiramiz.

13.2- jadval

h, m	ω, m^2	χ, m	R, m	$R^{1/3}$	$R^{2/3}$	$\omega \cdot R^{1/3}$	$\omega \cdot R^{2/3}$

Jadvaldagi qiymatlar asosida $\omega \cdot R^{1/3} = f(h)$ va $\omega \cdot R^{2/3} = \varphi(h)$ grafiklarni chizamiz va oqim chuqurligi (h)-ga mos $\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}}$ parametrining qiymatini topamiz.



13.2 -rasm. $\omega \cdot R^{1/3} = f(h)$ va $\omega \cdot R^{2/3} = \varphi(h)$ grafiklari.

4. Grafikdan $\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}}$ - ning olingan qiymati orqali kanal tubi nishabligini hisoblaymiz:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = A \quad \rightarrow \quad i = \left(\frac{Q \cdot n}{A} \right)^2$$

13.3. Kanalni loyqa bosishga qarshi tekshirish

Kanaldagi suv oqimining tezligi juda kichik bo'lsa, kanalni loyqa bosish xavfi paydo bo'ladi. Shu sababli kanalni loyqa bosish mumkin bo'lgan chegaraviy tezlikni aniqlab, kanaldagi suv oqimining o'rtacha tezligi bilan solishtirish zarur.

Shuni alohida qayd etish kerakki, O'zbekiston sharoitida foydalanilayotgan va loyihalashtirilayotgan kanallar uchun loyqa bosish tezligini aniqlash katta amaliy ahamiyatga ega. Chunki O'zbekistondagi kanallar asosan Amudaryo va Sirdaryolardan suv oladilar. Amudaryo va Sirdaryo daryolarda juda ko'p miqdorda cho'kindilar oqadi.

Kanallardagi loyqa bosish tezligi oqimning loyqa uzatish qobiliyatiga bog'liqdir.

13.4. Oqimning loyqa uzatish qobiliyati. Dinamik mustahkam kanallar

Kanallarni loyihalashda ∂_{su} - yuvilish tezligi qiymati tuproq turiga qarab, QM va Q lardan olinadi (bu haqida yuqorida aytib o'tildi).

Kanallarda ma'lum darajada loyqa miqdori harakatlunishi mumkin. Ular ma'lum joylarda cho'kib, yana harakatga kelishlari mumkin. Bunday jarayonlar kechadigan kanallarni dinamik mustahkam kanal deyiladi.

Bu jarayonlarni aniq ifodalash uchun oqimning loyqa uzatish qobiliyatini bilish lozim.

Loyqa uzatish qobiliyati deb - oqimning ma'lum loyqalik miqdorini cho'ktirmasdan olib yurish imkoniyatiga aytiladi.

Kanalning loyqa bosish tezligi, oqimning loyqa uzatish qobiliyati bilan bog'liqdir.

Hozirgi kunda loyqa uzatish qobiliyatini aniqlash uchun bir necha formulalar mavjud:

1. E.A.Zamarin formulasi:

$$S = 0,022 \frac{g}{W_0} \sqrt{\frac{R \cdot I \cdot g}{W}}$$

bu yerda: S - oqimning loyqa uzatish qobiliyati;

W_0 - gidravlik kattalik-tinch suvdagi loyqa zarrachalarining cho'kish tezligi, (mm/s);

$\bar{W}$ - o'rtacha gidravlik kattalik, (mm/s). (ilovada 13-jadval).

2. Tabiiy va laboratoriya sharoitida o'tkazilgan tajribalarni umumlashtirib, loyqa uzatish qobiliyatini hisoblash uchun S.X.Abalyants quyidagi formulani keltirib chiqargan:

$$S = 0,018 \frac{g^2}{R \cdot W_0}$$

bu yerda: $\bar{W}$ - o'rtacha gidravlik kattalik, (mm/s).

3. Oqimdagi cho'kindilarni har xil o'lchamlarga ega ekanligini hisobga olib, A.M.Arifjanov tomonidan oqimning loyqa uzatish qobiliyatini hisoblash uchun quyidagi formula taklif qilingan:

$$S = \alpha \frac{g^2}{g \cdot R \cdot W}$$

bu yerda:

$$\alpha = \left(\frac{d_0}{d_1} \right)^3 \quad \text{yoki} \quad \alpha = \sqrt{\frac{W_0}{W}}; \quad W_0 = 0,069 \text{ mm/c}$$

d_1 - cho'kindi diametri, (mm);

d_0 - «optimal» diametr, ya'ni, tezligi oqim tezligiga teng bo'lgan cho'kinti zarrachalari diametri, (mm).

Yuqoridagi formulalar asosida oqimning loyqa bosish cheparasi tezligini quyidagicha aniqlash mumkin:

1. E.A.Zamarin formulasi asosida: $\beta_s = \sqrt[3]{\frac{A^3}{n^2} R^{1/4}}$

$A = 0,0127 \sqrt{S' W_0^2 W}$ - koeffitsiyent;

S - oqimning loyqaligi, (kg/m³);

W - loyqa zarrachalarining o'rtacha gidravlik kattaligi, (m/s);

$W_0 = W$, $0,002 \leq W \leq 0,008$ i / n.

$W_0 = 0,002$, $0,0004 \leq W \leq 0,002$ i / n.

2. S.X.Abulyants formulasi asosida: $\beta_s = \alpha \sqrt[3]{R}$

bu yerda: $\alpha = 0,382 \sqrt[3]{\rho W}$ - tuzatuvchi koeffitsiyent.

3. A.Aritjanov formulasi asosida: $\beta_s = \alpha_0 \sqrt[3]{\rho W R}$;

$$\alpha_0 = \sqrt[3]{\frac{W}{W_0}}$$

Gidravlik kattalik (W) miqdori QM va Q 2.06.03-97 - «Sug'orish tizimlari, loyihalash me'yorlaridan» olinadi (ilovada 13-jadval).

Kanaldagi suv oqimining o'rtacha tezligini aniqlaymiz:

$$\beta = \frac{Q}{\omega}$$

Tezliklarni solishtiramiz, agar $\beta > \beta_s$ bo'lsa, kanalni loyqa bostmaydi.

XIII bob bo'yicha nazorat savollari:

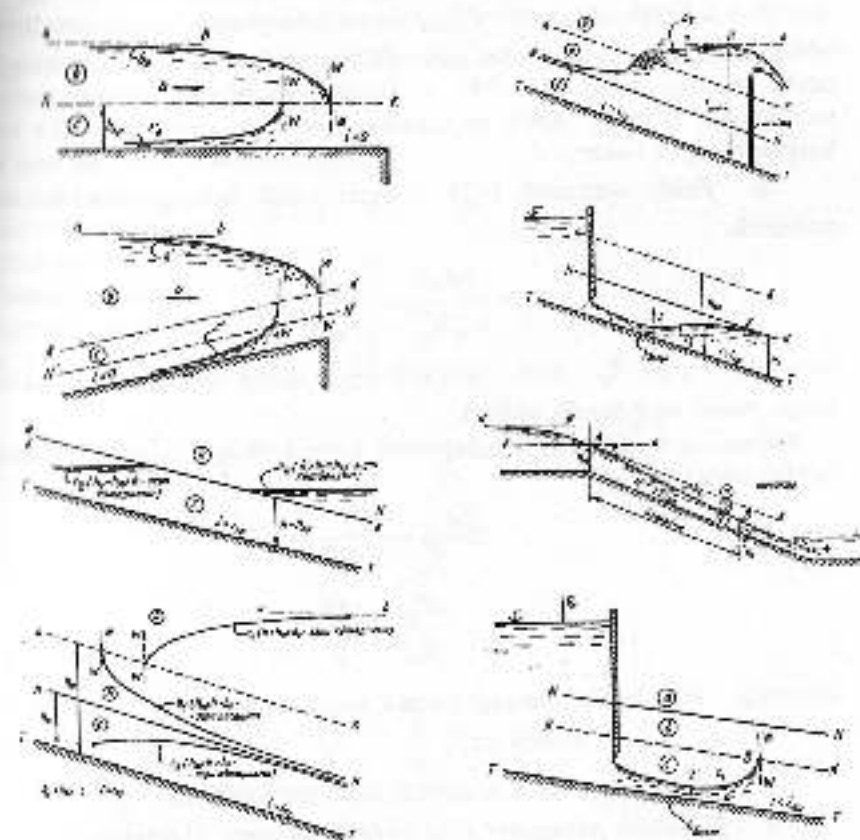
1. Kanaldagi ruxsat etilgan tezliklar.
2. Yuvimaydigan magistral kanalni loyihalash.
3. Kanalni loyqa bosishga qarshi tekshirish.
4. Oqimning loyqa uzatish qobiliyati. Dinamik mustahkam kanallar.

XIV BOB. OCHIQ O'ZANLARDA SUYUQLIK OQIMINING BARQAROR NOTEKIS HARAKATI

14.1. Notekis harakat. Asosiy tushunchalar

Amaliy masalalarni Yechishda oqimning notekis harakati bilan bog'liq jarayonlarni o'rganishga to'g'ri keladi. Bunday jarayonlar quyidagi holatlarda vujudga keladi (14.1-rasm): $h \neq (\text{const})$, $\beta \neq (\text{const})$, $i \neq J_0 + J_1$.

Ochiq o'zandagi suvning notekis harakatiga misollar



14.1-rasm. Ochiq o'zandagi suvning notekis harakatiga misollar.

Oqim notekis harakatini to'la ifodalash uchun bir necha tushunchalarni kiritamiz:

1. *Kesim solishtirma energiyasi:*

$$\mathcal{E} = h + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g} \text{ yoki } \mathcal{E} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^3}$$

bu yerda: h – oqim chuqurligi;

$\alpha = 1,0 \dots 1,1$ – Koriolis koeffitsiyenti;

ω – kanal harakat (tirik) kesimi yuzasi;

ϑ – o'rtacha tezlik; $\vartheta = \frac{Q}{\omega}$.

2. *Kritik chuqurlik (h_{kp})* – oqimning eng kichik (minimum) energiyasiga mos keluvchi chuqurlik. Kritik chuqurlikni aniqlashning bir necha usullari mavjud bo'lib, u haqda keyingi bo'limlarda batafsil to'xtalamiz. O'zanda kritik chuqurlikka mos suv sathini «K-K» bilan belgilaymiz (14.1-rasm).

3. *Kritik nishablik (i_{kp})* – oqim kritik holatiga mos keluvchi nishablik:

$$i_{kp} = \frac{Q^2 n^2}{\omega_{kp}^2 R_{kp}^{4/3}} = \left| \frac{Qn}{\omega_{kp} R_{kp}^{1/2}} \right|^2,$$

bu yerda: ω_{kp} va R_{kp} – kritik chuqurlik (h_{kp}) uchun hisoblangan kanal tirik kesim yuzasi va gidravlik radiusi.

Oqimning kritik holat tenglamasini keltirib chiqarish uchun ifodadan foydalanamiz:

$$\mathcal{E} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^3}$$

$$\frac{\omega_{kp}^3}{B_{kp}} = \frac{\alpha Q^2}{g}$$

bu yerda: ω_{kp} – kritik holatdagi harakat kesimi yuzasi;

Q – oqim sarti;

B_{kp} – kritik holatdagi oqim sathining eni.

4. *Kinetiklik parametri (Π_k) yoki Frud soni.* Oqimning energetik holatini ifodalovchi parametrlar bo'lib, ikkilangan kinetik energiyaning potentsial energiyaga nisbati:

$$B = \frac{d\omega}{dh},$$

$$F_r = \frac{\alpha \vartheta^2}{gh}; \quad \vartheta = \frac{Q}{\omega} \text{ ekanligidan foydalanib:}$$

$$\Pi_k = \frac{\alpha \vartheta^2}{gh} = \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{B}{\omega^3} = \frac{\alpha Q^2}{g\omega^2} \cdot \frac{B}{\omega}.$$

$\Pi_k = 1,0$ – oqimning kritik holati;

$\Pi_k < 1,0$ – oqimning sokin (tinch) holati;

$\Pi_k > 1,0$ – oqimning notinch holati.

5. *Normal chuqurlik (h_n)* – oqimning tekis harakatiga mos keluvchi chuqurlik. O'zanda normal chuqurlikka mos keladigan suv sathini «N-N» bilan belgilaymiz (14.1-rasm).

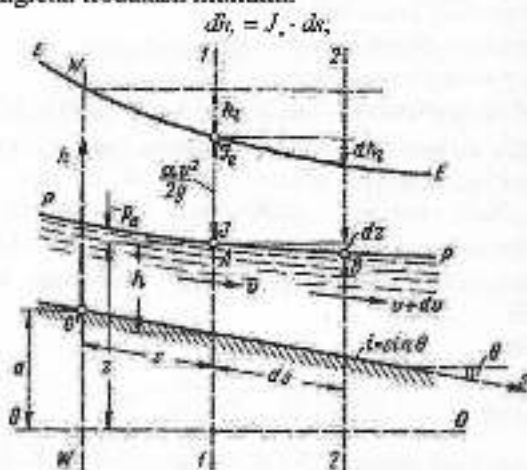
XIV bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Notekis harakat.
2. Kritik chuqurlik.
3. Kritik nishablik.
4. Kinetiklik parametri.
5. Normal chuqurlik.

XV BOB. SUYUQLIK OQIMINING BARQAROR NOTEKIS HARAKATINING DIFFERENTIAL TENGLAMASI

15.1 Barqaror notekis harakat differensial tenglamasi

Barqaror notekis harakat differensial tenglamasining bir necha ko'rinishlari mavjud bo'lib, qaralayotgan gidravlik jarayonga bog'liq ravishda quyidagicha ifodalash mumkin.



Gidravlik nishablik $J_s = \frac{dh}{ds} = \frac{d}{ds} \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right) = \frac{d\mathcal{E}}{ds}$;

$$J_s = \frac{dz}{ds} + \frac{d}{ds} \left(\frac{\alpha Q^2}{2g\omega^3} \right)$$

$$J_s = i + \frac{d}{ds} \left(\frac{\alpha Q^2}{2g} \right) \quad \text{- Notekis harakat differensial tenglamasi (I).}$$

Oqim bo'yicha (s) energiyaning o'zgarishi:

$$\frac{d\mathcal{E}}{ds} = \frac{dh}{ds} + \frac{d}{ds} \left(\frac{\alpha Q^2}{2g\omega^3} \right) \quad \text{yoki} \quad \frac{d\mathcal{E}}{ds} = i - J_s,$$

bu yerda: s – oqim uzunligi; $\mathcal{E}$ – oqimning solishtirma energiyasi; i – oqim tubining nishabligi; J_s – gidravlik nishablik.

$$\frac{d}{ds} \left(\frac{1}{\omega^3} \right) = \frac{-2}{\omega^3} \frac{d\omega}{ds} = \frac{-2}{\omega^3} \left(\frac{d\omega}{dh} \frac{dh}{ds} + \frac{\partial \omega}{\partial s} \frac{ds}{ds} \right)$$

$d\omega = B dh$ ekanligidan foydalanib

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - J_s + \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} \frac{d\omega}{ds}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} \frac{B}{R}}$$

- Notekis harakat differensial tenglamasi (II).

Prizmatik kanallar uchun notekis harakat differensial tenglamasi (II)ni quyidagicha yozish mumkin: Prizmatik kanallar uchun $\omega = f(h)$ ekanligidan

(II) tenglamadan $\frac{\partial \omega}{\partial s} = 0$ deb qabul qilamiz, u holda

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - J_s}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g\omega^3}} \quad \text{yoki} \quad \frac{dh}{ds} = \frac{i - J_s}{1 - K^2}$$

(III) yerda: Π_s – kinetiklik parametri;

$$\omega^3 C^2 R = K^2; \quad J_s = \frac{Q^2}{\omega^3 C^2 R}; \quad K_s = \frac{Q}{\sqrt{i}} \quad \text{ekanligidan}$$

foydalanib,

notekis harakat differensial tenglamasining II–ko'rinishini quyidagicha yozish ($\frac{dh}{ds} = \frac{dh}{dl}$) mumkin:

$$i > 0 \text{ bo'lganda:} \quad \frac{dh}{dl} = \frac{i \left(1 - \frac{K^2}{K_s^2} \right)}{1 - \frac{K^2}{K_s^2}}; \quad (15.1)$$

$i = 0$ bo'lganda:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{Q^2}{\Pi_s K^2}; \quad (15.2)$$

$i < 0$ bo'lganda:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i + \frac{Q^2}{K^2}}{\Pi_s - 1}; \quad (15.3)$$

bu yerda:

K – sarf moduli:

$$K = m \cdot C \sqrt{R};$$

C – Shezi koeffitsiyenti;

R – gidravlik radius.

15.2. Erkin sirt egriligi shakli. Erkin egri suv sathi chiziqlari

Oqimning notekis harakati bilan bog'liq bo'lgan jarayonlarni o'rganishda erkin sirt egriligi shaklini aniqlash katta ahamiyatga ega. Adabiyotlarda bu tushuncha – erkin egri suv sathi chizig'i (BES9CH) deb ham yuritiladi.

Erkin sirt egriligi aniqlashda prizmatik kanallar guruh va sinflari ajratiladi (15.1 -rasm).

O'zan tubining nishabligiga qarab A, B, C – guruhlar mavjud:

1) $i > 0$ bo'lganda A-guruh;

2) $i = 0$ bo'lganda B-guruh;

3) $i < 0$ bo'lganda C-guruh.

A-guruh o'z navbatida quyidagi sinflarga ajratiladi (15.1 -rasm):

1) $i < i_{kr}$; $h_0 > h_{kr}$ bo'lganda 1 – sinf;

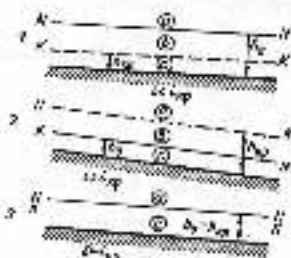
2) $i > i_{kr}$; $h_0 < h_{kr}$ bo'lganda 2 – sinf;

3) $i = i_{kr}$; $h_0 = h_{kr}$ bo'lganda 3 – sinf,

bu yerda: h_0 – normal chuqurlik;

h_{kr} – kritik chuqurlik.

1) A guruh



2) B guruh



3) C guruh



15.1 - rasm. Erkin sirt egriliklarini prizmatik kanallarda guruh va sinflarga ajratilishi.

Har sil guruhlardagi kanallarda oqayotgan suv yana a, b, c sohalariga bo'linadi (15.2 -rasm). Rasmdagi N-N chizig'i – normal chuqurlikka mos keladigan chiziq; K-K chizig'i – kritik chuqurlikka mos keladigan chiziq. N-N va K-K chiziqlar kanal tubiga parallel o'tkaziladi.

Sohalarning joylashishi quyidagicha:

1) soha K-K va N-N chiziqlardan yuqorida: $h > h_0 > h_{kr}$;

2) soha N-N va K-K chiziqlarining orasida: $h_0 > h > h_{kr}$ yoki $h_{kr} > h > h_0$;

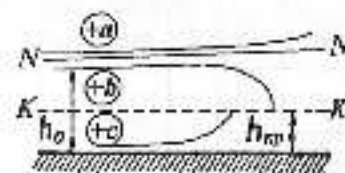
3) soha N-N va K-K chiziqlaridan pastda: $h < h_{kr} < h_0$ yoki $h < h_0 < h_{kr}$.

Erkin sirt egriligi aniqlash quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. Kanalning gidravlik elementlari asosida kanal guruhi va sinfi aniqlanadi.

2. Kanalidagi kritik va normal chuqurliklar aniqlanadi.

3. Berilgan chuqurlik uchun erkin sirt egriligi sohasi, shakli aniqlanadi.



15.2 – rasm. A - guruhdagi o'zan sxemasi

Buning uchun quyidagi xulosalarga amal qilinadi:

1. N-N - chizig'iga erkin suv sathi assimptotik yaqinlashib boradi.
2. K-K - chizig'iga erkin suv sathi normal bo'yicha yaqinlashadi.
3. Chuqurlik h chegarasiz kattalashgan sari, egri sathlar assimptotik gorizontal chiziqqacha yaqinlashib boradilar.

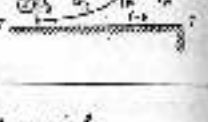
4. Kritik chuqurliklar chizig'ini kesib o'tganda, teoretik ekstrapolyatsiya yordami bilan chizilgan egri chiziq sathlari kritik chuqurliklar chizig'iga (K-K) normal bo'yicha (90° burchagi bilan) yo'nalgan.

5. A – guruhdagi o'zarlarda «a» sohada faqat ko'tarilma (oshib boruvchi) egri sirtlari mavjud bo'ladi: «(+a1)», «(-a2)», «(-a3)» (2.1 - jadval).

6. «b» sohalarida faqat pasayma (kamayib boruvchi) egri chiziq sirtlari bo'ladi: «(-b1)», «(-b2)», «(-b3)», «(-b')».

7. «c» sohada esa faqat ko'tarilma egri chiziq sirtlari bo'ladi: «(-c1)», «(+c2)», «(+c3)», «(+c')» (15.1 -jadval)

15.1 – jadval. Erkin sirt egriligining shakllari

Oqim chuqurligi	O'zan tubi nishaoblari		Sobn-lar	Kattaliklar			EESCH shakli	EESCH shaklining ko'rinishi
				$1 - \left(\frac{K_0}{K}\right)^2$	$1 - B_0$	$\frac{dh}{dx}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$h_0 > h_g$	$i > 0$	$i < i_g$	a_1	> 0	> 0	> 0	Egri ko'tarilma	
			b_1	< 0	> 0	< 0	Egri pasayma	
			c_1	< 0	< 0	> 0	Egri ko'tarilma	
$h_0 < h_g$		$i > i_g$	a_2	> 0	> 0	> 0	Egri ko'tarilma	
			b_2	> 0	< 0	> 0	Egri pasayma	
			c_2	< 0	< 0	> 0	Egri ko'tarilma	
$h_0 = h_g$		$i = i_g$	a_3	> 0	> 0	> 0	Egri ko'tarilma	
			c_3	< 0	< 0	> 0	Egri ko'tarilma	
$h = \infty$	$i = 0$	b_3	—	> 0	< 0	Egri pasayma		
		c_4	—	< 0	> 0	Egri ko'tarilma		
$h = \infty$	$i < 0$	B'	—	> 0	< 0	Egri pasayma		
		C'	—	< 0	> 0	Egri ko'tarilma		

15.3 Notekis harakat differensial tenglamasining (integrallash) tahlili

Notekis harakat differensial tenglamasini (15.1) quyidagi holatlarda integrallashni ko'rib chiqamiz:

1. A-guruh: $i > 0$ bo'lganda:

$$1 - H_k = 1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{B}{\omega^3} = \dots = 1 - \frac{\alpha C^2 B}{g \chi} \left(\frac{K_0^2}{K^2} \right)$$

$$j = \frac{\alpha \cdot K^2 B}{g \chi}$$

bu yerda: C – Shezi koeffitsiyenti: $C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$ bo'lganda

$$j = \frac{\alpha \cdot i}{g n^2} \cdot R^{1/3} \cdot \frac{B}{\chi}$$

χ – ho'llangan perimetr.

U holda notekis harakat differensial tenglamasi ni (15.1) quyidagicha yozamiz:

$$\frac{dh}{dx} = i \frac{1 - \frac{K_0^2}{K^2}}{1 - j \frac{K_0^2}{K^2}} = i \frac{\frac{K^2}{K_0^2} - 1}{\frac{K^2}{K_0^2} - j}$$

yoki

$$\frac{dh}{dx} = \frac{1}{i} \frac{\frac{K^2}{K_0^2} - j}{\frac{K^2}{K_0^2} - 1} \quad (15.4)$$

bu yerda $K = f(h)$; $j = f(h)$ $dh = f(h)dh$, ya'ni tenglamadagi (15.4) barcha ifodalar - h chuqurlik funksiyasidir.

$$\int_1^2 dh = \int_{h_1}^{h_2} f(h) dh$$

B.Baxmetevning ko'rsatkichli funksiyasidan foydalanib:

$$\left(\frac{K}{K_0} \right)^2 = \left(\frac{h}{h_0} \right)^2 \quad (15.5)$$

x -o'zanning gidravlik ko'rsatkichi:

$$x = 2 \frac{\lg \frac{K}{K_0}}{\lg \frac{h}{h_0}} = const$$

(4) formulani (5) asosida quyidagicha yozamiz:

$$idB = \frac{\eta^2 - 1}{\eta^2 + 1} dh$$

bu yerda: $\eta = \frac{h}{h_0}$ - nisbiy chuqurlik.

$$\frac{dh}{h} = k_0 d\eta \quad \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{d\eta}{\eta^2} = \varphi(h) - C$$

U holda $i > 0$ holat uchun (15.4) tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{dh}{h} = \eta_2 - \eta_1 - (1-j) [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)], \quad (15.6)$$

bu yerda:

$$j = \frac{\alpha \bar{C}^2 B}{gZ}, \quad (15.7)$$

$$h = \frac{h_2 - h_1}{2}, \quad (15.8)$$

$\varphi(\eta)$ funksiya qiymati maxsus jadvallarda keltirilgan (R.R.Chugayev, P-4 jadval, 573 bet, yoki shu qo'llanmaning ilovadagi 14-jadvalidan).

Masala: Kanalning quyidagi elementlari berilgan: b ; m ; n ; i ; h_0 ; h_1 ; h_2 . Egri sirt egriligini va uzunligini aniqlang: l ?

Yechish: (6) tenglamadan

$$l = \frac{h_2}{i} (A_2 - A_1)$$

$$A_2 = \eta_2 - (1-j)\varphi(\eta_2),$$

$$A_1 = \eta_1 - (1-j)\varphi(\eta_1)$$

(15.7), (15.8) ifodalardan foydalanib, l -ni aniqlaymiz.

2. B-guruh: $i=0$ holat uchun:

$$\left| \frac{K}{K_0} \right|^2 = \left| \frac{h}{h_0} \right|^2$$

u holda yuqorida bajarilgan tartib asosida $i=0$ holat uchun (2) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{i_2 \cdot l}{h_2} = (j-1)(\xi_2 - \xi_1) - [\varphi(\xi_2) - \varphi(\xi_1)]$$

$$\xi = \frac{h}{h_0};$$

$$j = \frac{\alpha \bar{C}^2 B}{gZ};$$

$$x = \frac{2 \lg \frac{K}{K_0}}{\lg \frac{h}{h_0}}$$

1. C-guruh: $i < 0$ holat uchun:

$$\left| \frac{K}{K_0} \right|^2 = \left| \frac{h}{h_0} \right|^2$$

u holda $i < 0$ holat uchun (3) tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{i \cdot l}{h_0^2} = -(\xi_2 - \xi_1) + (1+j) [\varphi(\xi_2) - \varphi(\xi_1)]$$

$$\xi = \frac{h}{h_0};$$

$$j = \frac{\alpha \bar{C}^2 B}{gZ};$$

$$x = \frac{2 \lg \left(\frac{K}{K_0} \right)}{\lg \left(\frac{h}{h_0} \right)}$$

bu yerda i^l - absolyut nishablik, h_0^l - faraz qilingan normal chuqurlik.

$$K_0^l = \frac{Q}{i^l}$$

15.4. Mashg'ulotlarda informatsion va innovatsion texnologiyalardan foydalanish

Bu bo'limdagi masalalar informatsion texnologiyalardan, ya'ni EIM yordamida kafedrada ishlab chiqilgan hisoblash dasturi asosida yechiladi. Keltirilgan jadvallardagi ma'lumotlar va grafiklar FHM yordamida bajarilgan.

15.4.1 To'suvchi to'g'on inshoot oldidagi erkin sirt egri chizig'i uzunligini aniqlash

Masala: O'zanda harakat notekis bo'lgan holda, suv oqimining chuqurliklari oshib yoki kamayib borishi mumkin. Oqimning erkin sirt chizig'i egri sirt shaklida bo'ladi. Agar o'zanda chuqurliklar oshib ketadigan bo'lsa - unda erkin sirt **egri ko'tarilma** chizig'i deb aytiladi.

Magistral kanalda to'suvchi to'g'on inshooti oldida suv oqimining harakati notekis bo'lib, kanaldagi suv chuqurligi ma'lum foizga oshadi deb olamiz.

Gidravlik hisoblashning asosiy maqsadi – erkin sirt chizig'ining turini aniqlash va uni B.A.Baxmetev usuli bilan qurish.

A. Masalani yechish tartibi

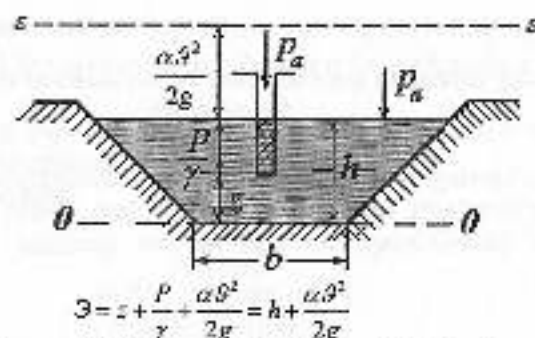
Kanalning quyidagi elementlari berilgan bo'lsin: kanaldagi suv sarfi Q_{ax} , kanal tubining eni b_{ax} , qiyalik ko'effitsiyenti m ; g'adir-budirlik ko'effitsiyenti n ; to'g'on inshooti oldidagi suv chuqurligi $h_{\text{ox}} = (1,15 \dots 1,20)h_0$.

I Magistral kanal tubining bo'ylama qirg'imi va planini masshtabda chizamiz (masala shartiga qarab).

II. Magistral kanaldagi erkin egri sirt chizig'i turini aniqlaymiz. Buning uchun avval kanaldagi kritik chuqurlikni hisoblab topishimiz kerak. Kritik chuqurlikni aniqlashni bir necha usullarini ko'rib chiqamiz.

a) **Birinchi usul:** Kritik chuqurlikni *kesimning solishtirma energiyasi grafigi* yordami bilan aniqlash.

Kesimning solishtirma energiyasi " $\mathcal{E}$ " – o'zan kesimining eng pastda joylashgan nuqtadan o'tkazilgan taqqoslash tekisligiga nisbatan hisoblangan to'la solishtirma energiyadir.



Kesimning solishtirma energiyasi eng kichik qiymatiga mos kelgan chuqurlikka *kritik chuqurlik* deb aytiladi.

$$\mathcal{E} = h + \frac{\alpha \beta^2}{2g} \quad \text{yoki} \quad \mathcal{E} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}$$

bu yerda: $\alpha = 1,0 \dots 1,1$ – Koriolis ko'effitsiyenti;

$\omega = (b + mh)h$ – trapetsiya shaklidagi kanal ko'ndalang kesimi yuzasi;

$\beta = \frac{Q}{\omega}$ – kanaldagi suv oqimining o'rtacha tezligi.

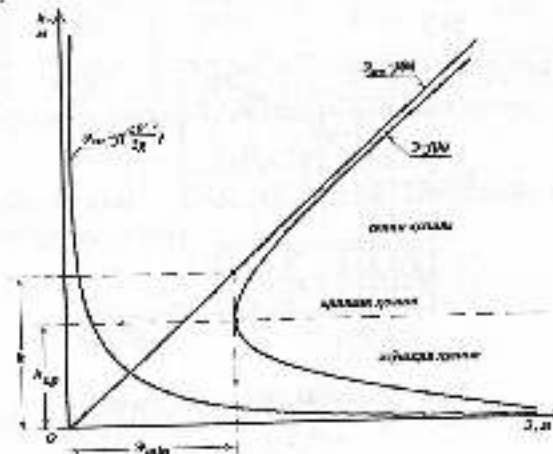
Hisoblashni jadvalda tanlash usuli yordamida o'tkazamiz. Oqim chuqurligiga bir necha qiymatlar berib, ularga mos keladigan kesim solishtirma energiyasini hisoblaymiz:

15.2 - jadval

h	α	β	$\frac{\alpha \beta^2}{2g}$	$\mathcal{E} = h + \frac{\alpha \beta^2}{2g}$
m	m	$m \cdot s$	m	m

Jadvalga asosan $\mathcal{E} = f(h)$ grafigini tuzamiz. Bu grafikda

energiyaning eng kichik qiymati $\mathcal{E}_{\text{min}}$ -ga to'g'ri keluvchi chuqurlik – kritik chuqurlik h_{kr} bo'ladi.



15.3-rasm. Kesimning solishtirma energiyasi grafigi.

b) **Ikkinchi usul** – suv oqimining *kritik holat grafigidan*. Oqimning kritik holat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{\omega^3}{B_{\text{kr}}}$$

Bu tenglama tanlash usulida yechiladi. Suv chuqurligiga har xil qiymatlar berilib, ular uchun quyidagi nisbatni aniqlaymiz:

$$\frac{\omega^3}{B}$$

bu yerdan: $\omega = (b + mh)h$ - kanal tirik kesimi yuzasi;

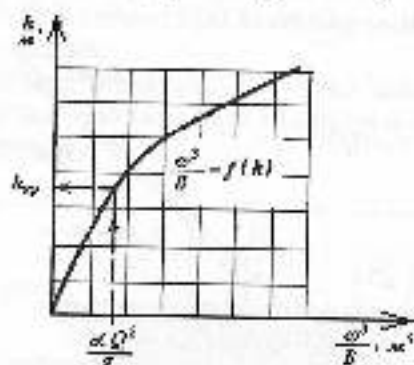
$B = b + 2mh$ - berilgan chuqurlikda oqim tirik kesim sathidagi kanalning kengligi.

Hisobni jadvalda keltiramiz:

15.3 - jadval

h, m	ω, m^3	V, m	ω^3, m^9	$\frac{\omega^3}{B}, m^5$	$\frac{\alpha Q^2}{g}, m^5$

Jadvaldagi aniqlangan kattaliklarga qarab, $\frac{\omega^3}{B} = f(h)$ grafigi chiziladi:



15.4 - rasm. Kritik holat grafigi.

Kritik holat shartiga ko'ra $\frac{\omega^3}{B_{kr}} = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g}$, demak ma'lum bo'lgan

$\frac{\alpha \cdot Q^2}{g}$ ga qarab kritik chuqurlik qiymati h_{kr} grafikdan olinadi (15.4-rasm).

v) *Uchinchi usul* - I.L. Agroskin usuli.

Hisoblash formulasi:

$$h_{kr} = K \cdot h_{KR}$$

Trapetsiya shaklidagi kanallar uchun kritik chuqurlikni quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

1. To'g'ri to'rtburchak shaklidagi kanal uchun kritik chuqurlik:

$$h_{KR} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{b^2 g}}$$

2. Yordamchi koeffitsiyent:

$$\sigma_s = \frac{mh_{KR}}{h_{cm}}$$

m va h_{cm} - magistral kanal uchun olinadi.

3. $K = 1 - \frac{\sigma_s}{3} + 0.105 \sigma_s^2$ (yoki R.R. Chugayev kitobidan, 239 - betdagi

7.16 chizmadan « σ_s » -ga qarab, « K » qiymatini olamiz).

15.4 - jadval

σ_s	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08
K	0.997	0.993	0.987	0.980	0.973

4. Magistral kanaldagi kritik chuqurligini aniqlaymiz:

$$h_{kr} = K \cdot h_{KR}$$

g) *To'rtinchi usul* - TIMI "Gidravlika" kafedrasida ishlab chiqilgan usul (A.M. Arifjanov usuli):

$$h_{kr} = \frac{b}{4M} \left(\sqrt{1 + \frac{8 \cdot m \cdot h_{KR}}{b}} - 1 \right),$$

$$M = m^2 / \sqrt{1 + m^2}$$

$$\text{yoki } h_{kr} = (0.73 - 0.12 \ln \frac{mh_{KR}}{b_{KR}}) \cdot h_{KR}$$

III. Magistral kanaldagi berilgan tub nishabligini ($i > 0$) kritik nishablik bilan solishtiramiz. Shunda erkin sirt egri chiziqning guruhini va sinfini aniqlaymiz.

Magistral kanal berilgan tubining nishabligi kritik nishablikdan kichkina bo'lsa (demak $i_{kor} < i_{kr}$), magistral kanal "A" guruh, 1-chi sinfga kiradi.

Berilish bo'yicha magistral kanaldagi to'suvchi inshoot oldidagi suv chuqurligi oshib boradi, berilgan chuqurlik $h_{\text{ep}} > h_n > h_{\text{ep}}$, demak magistral kanaldan erkin sirtida - *egri ko'tarilma* chizig'i hosil bo'ladi: +a).

IV. Magistral kanaldagi kritik nishabligini ($h=h_{\text{kr}}$) suv oqimining tekis holatdagi tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$i_{\text{ep}} = \frac{Q^2}{\omega_{\text{ep}}^2 C_{\text{ep}}^2 R_{\text{ep}}} \text{ yoki } i_{\text{ep}} = \left[\frac{Qn}{\omega_{\text{ep}} R_{\text{ep}}^{2/3}} \right]^2$$

bu yerda: $\omega_{\text{ep}}, \chi_{\text{ep}}, R_{\text{ep}}, C_{\text{ep}}$ va B_{ep} - kritik chuqurlik uchun hisoblangan kanalning gidravlik elementlari.

$C = \frac{1}{n} R_{\text{ep}}^{1/6}$ - Shezi koeffitsiyenti (Manning formulasi), ($m^{1/3}/s$);

$\omega = (b + mh_{\text{ep}})h_{\text{ep}}$ - tirik kesim yuzasi, (m^2);

$\chi_{\text{ep}} = b + 2h_{\text{ep}}\sqrt{1+m^2}$ - ho'llangan perimetr, (m);

$R_{\text{ep}} = \frac{\omega_{\text{ep}}}{\chi_{\text{ep}}}$ - gidravlik radius, (m);

yoki suv oqimining kritik holat tenglamasidan:

$$B_{\text{ep}} = b + 2mh_{\text{ep}} \Rightarrow i_{\text{ep}} = \frac{g \cdot \chi_{\text{ep}}}{\alpha \cdot C_{\text{ep}}^2 \cdot B_{\text{ep}}}$$

V. *Kinetiklik parametri* (Π_k) - ikkilangan kinetik energiyani potentsial energiyaga bo'lgan nisbati:

$$\Pi_k = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot \omega^3} \cdot \frac{B}{\omega^2} = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot \omega^2} \cdot \frac{B}{\omega} = \frac{\alpha \cdot g^2}{g \cdot h_{\text{ep}}^3}$$

bu yerda:

$$h_{\text{ep}} = \frac{\omega}{B}$$

Agar: $h = h_{\text{ep}}$ bo'lsa, $\Pi_k = 1,0$ - kritik holat;

$h > h_{\text{ep}}$ bo'lsa, $\Pi_k < 1,0$ - tinch (sokin) holat;

$h < h_{\text{ep}}$ bo'lsa, $\Pi_k > 1,0$ - notinch (jo'shqin) holat.

Bu parametr oqimning holatini aniqlaydi, oqimning kinetiklik darajasini ko'rsatadi.

VI. Suv oqimining normal chuqurligini aniqlaymiz (h_n). Tekis harakatdagi chuqurlikka *normal chuqurlik* deb aytiladi.

Normal chuqurlikni aniqlash usullari kitobning 1-qismida batafsil yozilgan.

15.4.2 Egri ko'tarilma chiziqning uzunligini aniqlash va qurish

Yuqoridagi gidravlik hisoblarni bajarib qo'yilgan masalani Yechish uchun B.A. Baxmetev (6) tenglamasidan foydalanamiz:

$$\frac{il}{h_n} = \eta_1 - \eta_2 - (1 - j_n) [\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)]$$

Bu tenglamani aniqlashi kerak bo'lgan «l»-ga nisbatan hisoblasak, quyidagi hisoblash tenglamasini olamiz:

$$l = \frac{h_n}{i} \{ [\eta_2 - (1 - j_n)\varphi(\eta_2)] - [\eta_1 - (1 - j_n)\varphi(\eta_1)] \} = (A_2 - A_1) \frac{h_n}{i}$$

bu yerda:

$$A_1 = \eta_1 - (1 - j_n)\varphi(\eta_1);$$

$$A_2 = \eta_2 - (1 - j_n)\varphi(\eta_2);$$

l - ikkita kesim orasidagi masofa (har bittasining chuqurliklari mos ravishda h_1 va h_2).

Kesimlarning va chuqurliklarning tartib raqamlari yuqoridan boshlab, oqimning yo'nalishi bo'yicha belgilanadi.

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_n}; \eta_2 = \frac{h_2}{h_n} \text{ - } 1-1 \text{ va } 2-2 \text{ kesimlardagi nisbiy chuqurliklar;}$$

i, h_n - kanal tubining nishabligi va normal chuqurligi;

$$j_n = \frac{\alpha \bar{C}^2 \bar{B}}{gZ} \text{ - o'rtacha ishqalanish nishabligi, suv chuqurligining}$$

o'rtacha qiymati uchun hisoblanadi:

$$h_n = \frac{h_1 + h_2}{2},$$

$\bar{C}, \bar{B}, \bar{\chi}, \bar{\omega}$ - o'rtacha chuqurlik $\bar{h}_n$ uchun hisoblangan kanalning gidravlik elementlari:

$$\bar{B} = b + 2m\bar{h}; \quad \bar{\omega} = (b + m\bar{h})\bar{h}; \quad \bar{\chi} = b + 2\bar{h}\sqrt{1+m^2}; \quad \bar{R} = \frac{\bar{\omega}}{\bar{\chi}};$$

$\alpha = 1.1$ – kinetik energiyani korrektivi – Koriolis koeffitsiyenti, oqimning tirik kesim bo'yicha tezliklarning notekis taqsimlanishini hisobga oluvchi koeffitsiyent;

$\varphi(\eta_1), \varphi(\eta_2)$ – nisbiy chuqurlik funksiyalari, jadvalardan o'zining gidravlik ko'rsatkichi "x" ga qarab olinadi (Chugayev R.R., 573-579 bet yoki shu qo'llatmani ilovadagi 14-jadvaldan).

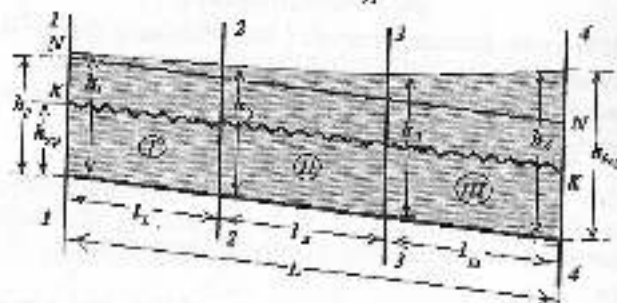
Gidravlik ko'rsatkichni aniqlash formulasi:

$$x = \frac{2(\lg \bar{K}_{0r} - \lg K_0)}{\lg \bar{h}_{0r} - \lg h_0} = 2 \frac{\lg \frac{\bar{K}_{0r}}{K_0}}{\lg \frac{\bar{h}_{0r}}{h_0}};$$

Bu yerda $\bar{K}_{0r}, K_0$ – mos ravishda $\bar{h}_{0r}$ va h_0 uchun hisoblangan sari modullari:

$$\bar{K}_{0r} = \bar{\omega}_{0r} \bar{N}_{0r} \sqrt{\bar{R}_{0r}} = \frac{\bar{\omega}_{0r} R_{0r}^{2/3}}{n}$$

$$K_0 = \frac{\omega_0 R_0^{2/3}}{n}$$



15.5 – rasm. B.A. Baxmetev usulida sath egriligini aniqlash sxemasi.

B.A. Baxmetev usuli bilan yechish uchun magistral kanal hisoblash sxemasini tuzishimiz va bir necha kesimlarga bo'lishimiz kerak (kesimlarning tartib raqatlari oqim bo'yicha tepadan pastga qarab belgilanadi). Shu chizmada normal va kritik chuqurliklar chiziqlarini belgilaymiz K-K, N-N (15.5-rasm).

Gidravlik ko'rsatkich «x» va o'rtacha ishqalanish nisbatligi « $\bar{j}$ » qiymatini kanalning butun uzunligi bo'yicha bir xil deb qabul qilishimiz mumkin, demak o'rtacha chuqurlik:

$$\bar{h}_x = \frac{h_0 + h_{0r}}{2};$$

bu yerda $h_{0r} = 1.2h_0$ – to'suvchi inshoot oldidagi berilgan chuqurlik. Gidravlik ko'rsatkich «x» trapetsiya shaklidagi kanallar uchun:

$$x = 3.4 \left(1 + \frac{m}{\beta + m}\right) - 1.4 \frac{m^2}{\beta + m^2}$$

bu yerda $\beta = \frac{b}{h_x}$ – kanalning nisbiy kengligi;

$$m^2 = 2\sqrt{1 + m^2}.$$

Aniqlangan o'zining gidravlik ko'rsatkichi «x» eng yaqin bo'lgan jadvaldagi qiymatgacha yaxlitlanadi.

Hisoblash oxirgi bo'limgan (kanal to'suvchi inshoot oldidan) tushlanadi.

Berilgan chuqurlikdan boshlab ($h_{0r} - h_0$), egri chiziqli sathning ko'rinishiga qarab, 3-3 kesimdagi chuqurlikka qiymatni beramiz.

Bizning misolda ko'tarilma (dimlangan) egri chiziqli sath hosil bo'ladi, demak yuqoriga borib sari chuqurlik kamayadi:

$$h_2 - h_1 = \Delta h.$$

Δh – ikkita kesimlarning chuqurlik orasidagi farq ($\Delta h = 0.02 \dots 0.1$ metr gacha qabul qilinadi).

Keyin III qismi uchun B.A. Baxmetev formulasi orqali shu chuqurlik qaysi masofada hosil bo'lishini aniqlaymiz (15.6):

$$l_w = \frac{h_0}{i} \{ \eta_1 - \eta_2 - (1 - \bar{j}_x) [\varphi(\eta_1) - \varphi(\eta_2)] \}$$

Avval $\frac{h_0}{i}$ ni hisoblab, keyin tenglamadagi qolgan qiymatlar jadvaldan olinib, hisoblanadi.

Undan keyin 3-3 kesimdagi chuqurlik ma'lum deb qabul qilinib, 2-2 kesimdagi chuqurlikka qiymatini beramiz.

$$h_2 - h_1 = \Delta h$$

II-chi qismi uchun o'rtacha chuqurlikni $\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}$ va shu qiymat uchun $\bar{\omega}, \bar{X}, \bar{R}, \bar{B}$ - lar hisoblanadi.

Xuddi III-chi qismi uchun aniqlangan uzunlikka o'xshab, II qismidagi masofani (1.6) B.A. Baxmetev tenglamasi yordami bilan aniqlaymiz. Shu hisoblashni I-chi qism uchun ham qaytarimiz.

2-2 kesimdagi chuqurlik ma'lum deb, 1-1 kesimdagi chuqurlikni aniqlaymiz:

$$h_1 - h_2 = \Delta h$$

Hisoblash natijalarini jadvalda keltiramiz:

15.5 - jadval

No	$\bar{h}_m$	$\bar{\omega}_m$	$\bar{\chi}_m$	$\bar{R}_m$	$\bar{X}$	Ko'rsatkichlar	h	n	$\varphi(n)$	$\bar{K}$	$\bar{\omega}$	$\bar{\chi}$	$\bar{R}$	$\bar{B}$	$\bar{j}$	$1-j$	A	A_2/A_1	I
III						4													
						3													
II						3													
						2													
I						2													
						1													

Bu yerda:

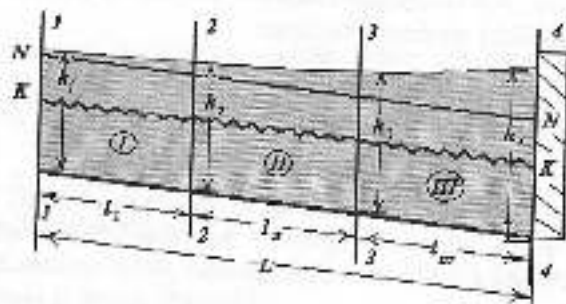
$$\bar{h}_m = \frac{h_0 + h_{kr}}{2}$$

$\bar{h}_m$ - magistral kanaldagi ko'tarilma egri chiziqli sath hosil bo'ladigan soha uchun o'rtacha suv chuqurligi (1-1 kesimdan to 4-4 kesimgacha).

$\bar{\omega}_m$, $\bar{\chi}_m$, $\bar{R}_m$ - shu o'rtacha chuqurlik $\bar{h}_m$ uchun hisoblangan kanalning gidravlik elementlari.

Ko'tarilma egri chiziqli sirtning umumiy uzunligi
 $l = l_1 + l_2 + l_3$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}; j = \frac{\alpha \cdot i \cdot C^2 \cdot \bar{B}}{g \cdot \bar{\chi}} = \frac{\alpha \cdot i \cdot \bar{R}^{10/3} \cdot \bar{\beta}}{g \cdot n^2 \cdot \bar{\chi}}; \bar{B} = b + 2 \cdot m \cdot \bar{h}.$$



15.6 -rasm. Sath egri chizig'ini qurish.

Jadval natijalariga asosan magistral kanalda to'suvchi inshoot oldidagi erkin sirt egriligini chizamiz (15.6 -rasm).

Masala: Magistral kanalda to'suvchi inshoot oldidagi erkin sirt egriligini chizing, quyidagi parametrlar berilgan bo'lsa: $Q = 47,66 \text{ m}^3/\text{s}$; $b = 12 \text{ m}$; $m = 1,5$; $n = 0,025$; $i = 0,002$; $h_{kr} = 4,0 \text{ m}$. Kanalda suv oqimining normal chuqurligi $h_0 = 3,0 \text{ m}$.

Yechish tartibi:

1. Kanaldagi normal chuqurligi:

$$h_0 = 3,0 \text{ m}.$$

2. Kritik chuqurlikni h_{kr} aniqlaymiz

a) Agroskin usuli:

Oldin to'g'ri to'rtburchak shaklidagi kanal uchun kritik chuqurlikni aniqlaymiz:

$$h_{kr} = 0,482 \cdot q^{2/3} = 0,482 \cdot \left(\frac{47,66}{12} \right)^{2/3} = 1,21 \text{ m}$$

yordamchi koeffitsiyent

$$\sigma_n = \frac{m \cdot h_{kr}}{h} = \frac{1,5 \cdot 1,21}{12} = 0,152$$

R.R. Chugayev kitobidan, 239 - betdagi 7-16 $K = f(\sigma_n)$ chizmadan

« σ_n » -ga qarab, « K » qiymatini grafikdan olamiz:

$$K = 0,955.$$

Demak

$$h_x = K \cdot h_{kr} = 0,955 \cdot 1,21 = 1,175 \approx 1,2 \text{ m}.$$

b) TIMI "Gidravlika" kafedrasida ishlab chiqilgan usul asosida (A.M.Arifjanov usuli):

$$h_{0x} = (0,73 - 0,12 \ln \frac{m h_{kr}}{b_{0x}}) \cdot h_{kr}$$

$$h_{0x} = 1,18 \text{ m}.$$

3. Oqim erkin sath egrilikning shaklini aniqlaymiz.

Kanal tub nishabligi $i = 0,002 > 0$ bo'lganligi uchun, kanal "A" gurubga kiradi. Kanaldagi suv oqimining normal chuqurligi kritik chuqurligidan katta bo'lgani ($h_0 = 3,0 \text{ m} > h_{kr} = 1,2 \text{ m}$), va tub nishabligi $i < i_{kr}$ sababli kanal 1-chi sinfga qarashli. Berilgan chuqurlik $h_{0kr} = 4,0 \text{ m} > h_0 = 3,0 \text{ m}$ bo'lganligi uchun erkin sirtning egriligi "a" sohada joylashgan va uning shakli - egri ko'tarilma +a₁ bo'ladi.

4. O'zanning gidravlik ko'rsatkichini aniqlaymiz "x":
Aniqlangan "a" sohada o'rtacha chuqurlik:

$$\bar{h}_c = \frac{h_1 + h_{\text{os}}}{2} = \frac{3,0 + 4,0}{2} = 3,5 \text{ m},$$

$$\beta_c = \frac{b}{\bar{h}_c} = \frac{12}{3,5} = 3,43,$$

O'zanning gidravlik ko'rsatkichi R.R.Chugayev formulasiga asosan:

$$x = 3,4 \cdot \left| 1 + \frac{m}{\beta_c + m} \right| - 1,4 \cdot \frac{2 \cdot m'}{\beta_c + 2 \cdot m'} = 3,4 \cdot \left| 1 + \frac{1,5}{3,43 + 1,5} \right| - 1,4 \cdot \frac{2 \cdot 1,803}{3,43 + 2 \cdot 1,803} = 3,67$$

bu yerda $m' = \sqrt{1 + m^2} = \sqrt{1 + 1,5^2} = 1,803$.

Shu qiymatga eng yaqin bo'lgan jadvaldagi qiymatini qabul qilamiz $x=3,75$.

5. Endi $h_{\text{os}}=4,0\text{m}$ - dan kichik va $h_1=3,0\text{m}$ - dan kattaroq bo'lgan bir nechta h qiymatlarini qabul qilamiz, va har bittasi uchun nisbiy chuqurliklar qiymatlarini aniqlaymiz. Misol uchun $h_1=3,8\text{m}$ bo'lganda:

$$\eta_2 = \frac{h_{\text{os}}}{h_1} = \frac{4,0}{3,0} = 1,33$$

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_0} = \frac{3,8}{3,0} = 1,267$$

Ilovadagi 14-jadvaldan, aniqlangan η_1 va η_2 $x=3,75$ uchun $\varphi(\eta_1)$ va $\varphi(\eta_2)$ qiymatlarini qabul qilamiz:

$(\eta_1)_x = 1,267$ uchun o'ziga mos bo'lgani yuq ekan, eng yaqin bo'lgan jadvaldagi qiymatlar

kattaroq bo'lgan $(\eta_1)_x = 1,27$ -

$\varphi(\eta_1)_x = 0,233$

kichikroq bo'lgan $(\eta_1)_x = 1,26$ -

$\varphi(\eta_1)_x = 0,240$

ularning farqi: $0,014 = 0,007$

Demak interpolatsiya usulini qo'llab, bizga kerakli bo'lgan qiymatni aniqlaymiz:

$$\varphi(\eta_1) = 0,24 + (1,267 - 1,26) \cdot \frac{(-0,007)}{0,01} = 0,2351$$

$(\eta_2)_x = 1,33$ uchun jadvaldan $\varphi(\eta_2) = \varphi(1,333) = 0,1955$ olamiz.

6. Har bir qism uchun suv chuqurligining o'rtacha qiymatini aniqlaymiz:

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

Misol uchun, suv oqimi o'rtacha chuqurligi $\bar{h} = 3,5\text{m}$ uchun:

irik kesim yuzasi: $\bar{\omega} = h \cdot (b + m \cdot h) = 3,5 \cdot (12 + 1,5 \cdot 3,5) = 60,38 \text{ m}^2$;

ho'llangan perimetr: $Z = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2} = 12 + 2 \cdot 3,5 \cdot \sqrt{1 + 1,5^2} = 24,6 \text{ m}$;

gidravlik radius: $\bar{R} = \frac{\bar{\omega}}{Z} = \frac{60,38}{24,6} = 2,454 \text{ m}$;

o'zan sathidagi oqim kengligi: $\bar{B} = b + 2 \cdot m \cdot \bar{h} = 12 + 2 \cdot 1,5 \cdot 3,5 = 22,50 \text{ m}$.

Unda o'rtacha ishqalanish nishabligi: $j = \frac{\alpha \cdot i}{g \cdot n^2} \cdot \bar{R}^{1/3} \cdot \frac{B}{\bar{X}} = 0,047$, va

$1 - j = 0,953$.

Hamma aniqlangan kattaliklarni jadvalga yig'ib, hisoblaymiz:

15.6-jadval

Uchastka larning No'vi	Kosim larning	h	η	$\varphi(\eta)$	h	$\bar{\omega}$	Z	$\bar{R}$	$\bar{B}$	j	Izoh
3	4	4,00	1,33	0,195	3,8	69,62	26,04	2,67	23,7	0,045	$x=3,75$ $j=0,002$ $n=0,025$ $j = \frac{\alpha \cdot i}{g \cdot n^2} \cdot \bar{R}^{1/3} \cdot \frac{B}{\bar{X}}$ $\frac{\alpha \cdot i}{g \cdot n^2} = 0,0399$
	3	3,80	1,26	0,235							
2	3	3,80	1,26	0,235	3,60	64,94	25,34	2,56	23,1	0,044	
	2	3,60	1,20	0,292							
1	2	3,60	1,20	0,292	3,40	60,38	24,6	2,45	22,5	0,044	
	1	3,40	1,13	0,379							

8. Har bir qismning uzunligini quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz:

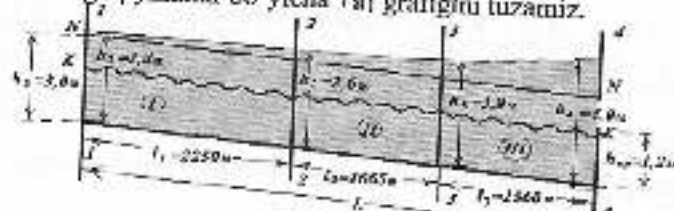
$$l = \frac{h_1}{i} (A_2 - A_1),$$

bu yerda $A_2 = \eta_2 - (1-f) \cdot \varphi(\eta_2)$ va $A_1 = \eta_1 - (1-f) \cdot \varphi(\eta_1)$.
Hisoblash natijalarini quyidagi jadvalga tushiramiz:

Uchastkalarining N_2/N_1	A_2	A_1	$A_2 - A_1$	ϵ	Izoh
3	1,146	1,042	0,104	1560	$\frac{h_2}{\epsilon} = 15000$
2	1,032	0,921	0,111	1665	
1	0,921	0,771	0,150	2250	

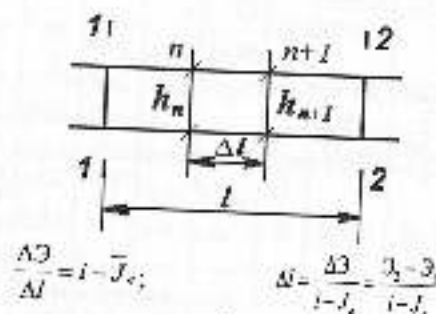
15.7- jadval

Jadval asosidagi qiymatlar bo'yicha ϵ ni grafigini tuzamiz.



15.7-rasm. Charnomskiy usulida notekis harakat differensial tenglamasini integrallash.

Bu usulda o'zan bir necha (n) kichik qismlarga ajratiladi. U holda Bernulli tenglamasidan foydalanib oqim energiyasining o'zgarishi aniqlanadi.



$$\frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta l} = 1 - \bar{J}_c; \quad \Delta \mathcal{E} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{1 - \bar{J}_c} = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{1 - \bar{J}_c}$$

$$\Delta \mathcal{E} = (h_{n+1} + \frac{\alpha \mathcal{E}_{n+1}^2}{2g}) - (h_n + \frac{\alpha \mathcal{E}_n^2}{2g})$$

bu yerda: Δ - kesimlar orasidagi masofa;
 $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$ - 1-1 va 2-2 kesimlardagi oqimning solishtirma energiyasi;
 h_n, h_{n+1} - n va $n+1$ qismlardagi suv oqimining chuqurligi;
 $\mathcal{E}_n, \mathcal{E}_{n+1}$ - n va $n+1$ qismlardagi oqim tezligi.

Har bir qism (n) uchun sath egrilik uzunligi aniqlanadi:

$$l = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \mathcal{E}}{1 - \bar{J}_{c_i}}$$

$$\bar{J}_c = \frac{\bar{y}^3}{C^2 R}, \text{ agar } C = \frac{1}{n} R^{1/6} \text{ bo'lsa, u holda}$$

$$J_c = \left| \frac{\bar{y}^3}{R^2} \right| = \left| \frac{Q \cdot n^2}{\omega \cdot R^3} \right|$$

bu yerda: $\bar{\omega}, \bar{R}$ - bir qismidagi gidravlik elementlarning o'rtacha qiymatlari, o'rtacha chuqurlik $\bar{h}$ uchun hisoblangan.

Erkin sirt egri chizig'i uzunligini aniqlash

Masala.

Trapetsiya shakldagi kanalda erkin egri suv sathi chizig'i - egri pasayma kuzatiladi. Charnomskiy usulini qo'llab, shu chiziqni quyidagi kattaliklar uchun qurish kerak: $Q=47,66 \text{ m}^3/\text{s}$; $h_0=3,0 \text{ m}$ (kanal normal chuqurligi); $b=12 \text{ m}$ (kanal tubidagi eni); $m=1,5$; $n=0,025$; $i=0,0002$; $\epsilon=12000 \text{ m}$ (kanal uzunligi); $h_2=2,4 \text{ m}$ (kanal so'ngi kesimdagi suv chuqurligi).

Yechish tartibi:

Kanal so'ngi kesimdagi suv chuqurligi bizga ma'lum bo'lganligi uchun erkin egri suv sathi chizig'ining nuqtalarini aniqlanishini shu chuqurlikdan boshlaymiz.

1. Berilgan chuqurlik $h_2=2,4 \text{ m}$ uchun bizga kerakli bo'lgan gidravlik elementlarni hisoblaymiz:

$$\text{tirik kesim yuzasi: } \omega_2 = (b + m \cdot h_2) \cdot h_2 = (12 + 1,5 \cdot 2,4) \cdot 2,4 = 37,44 \text{ m}^2;$$

$$\text{kanaldagi suv oqimining o'rtacha tezligi: } \mathcal{E}_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{47,66}{37,44} = 1,27 \text{ m/s};$$

$$\text{bo'lingan perimetr: } \chi_2 = b + 2 \cdot h_2 \cdot \sqrt{1 + m^2} = 12 + 2 \cdot 2,4 \cdot \sqrt{1 + 1,5^2} = 20,64 \text{ m};$$

$$\text{gidravlik radius: } R_2 = \frac{\omega_2}{\chi_2} = \frac{37,44}{20,64} = 1,81 \text{ m};$$

kesim solishtirma energiyasi:

$$\mathcal{E}_2 = h_2 + \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega_2^3} = 2,4 + \frac{1,1 \cdot 47,66^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 37,44^2} = 2,49 \text{ m.}$$

2. $h_1 = 2,5 \text{ m}$ deb qabul qilamiz. Unda xuddi yuqorida ko'rsatilganidek:

$$\omega_1 = 39,38 \text{ m}^2; \beta_1 = 1,21 \text{ m/s}; x_1 = 21,0 \text{ m}; R_1 = 1,87 \text{ m}; \mathcal{E}_1 = 2,58 \text{ m.}$$

3. Chuqurligi $h_1 = 2,5 \text{ m}$ teng bo'lgan 1-1 kesimdan to' chuqurligi $h_2 = 2,4 \text{ m}$ teng bo'lgan 2-2 kesimgacha solishtirma energiyalarning o'zgarishi bo'ladi:

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 2,49 - 2,58 = -0,091 \text{ m.}$$

4. Ko'rilayotgan uchastka uchun θ va R o'rtacha qiymatlarini aniqlaymiz:

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{1,21 + 1,27}{2} = 1,24 \text{ m/s};$$

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{1,87 + 1,81}{2} = 1,84 \text{ m.}$$

Demak,

$$i_c = \frac{|\bar{\theta} \cdot n|}{R^{2/3}} = \frac{1,24 \cdot 0,025}{1,84^{2/3}} = 0,00042.$$

5. Tenglamadan $\Delta \mathcal{E}$ ni aniqlaymiz:

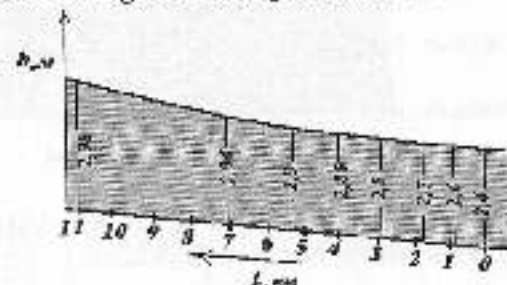
$$\Delta \mathcal{E} = - \frac{\Delta \mathcal{E}}{i - \bar{i}_c} = - \frac{0,091}{0,0002 - 0,00042} = 404 \text{ m.}$$

Suv chuqurligi uchun h bir nechta qiymatlarni berib, hisoblashni yuqorida ko'rsatilgan tartibda olib borib, natijalarni jadvalga tushiramiz.

h	ω	θ	β	x	R	$\bar{R}$	$\mathcal{E}$	$\Delta \mathcal{E}$	$\bar{i}_c \cdot 10^4$	$\Delta \mathcal{E}$	i
2,4	37,4	1,27		20,8	1,81		2,49				0
0	4	3	1,24	4	4	1,84	1	-	4,23	404	
			2			5		0,0			404
2,5	39,3	1,12		21,0	1,87		2,58	91	3,65	554	
0	8	0	1,18	0	5	1,90	2	-	3,17	804	958
			2			5		0,0			1762
2,6	41,3	1,15		21,3	1,93		2,67	0,0			
0	4	3	1,12	6	5	1,96	4	92	2,77	122	2989
			7			5					
2,7	43,3	1,10		21,7	1,99		2,76	-	2,50		
0	4	0	1,07	2	5	2,02	8	0,0		940	3923
			6			5		94	2,35		
2,8	45,3	1,05		22,0	2,05		2,86			137	5295
0	6	1	1,04	8	4	2,06	2	-	2,21	2	7105
			0			9		0,0			

2,0	46,3	1,02		22,2	2,08		2,90	94	2,10	181	
0	8	8	1,01	6	4	2,09	9	-		0	1090
			7			8					5
2,0	47,4	1,00		22,4	2,11		2,95	0,0		380	
0	2	5	0,99	4	3	2,12	7	47		0	
			7			5					
2,0	48,2	0,98		22,5	2,13		2,99	-			
4	5	8	0,97	8	6	2,14	5	0,0		48	
			8			8					
2,0	49,0	0,97		22,7	2,10		3,03	-			
8	8	1		3	0		3	0,0		38	
								-			
								0,0			
								38			
								-			
								0,0			
								38			

Jadval asosida erkin egri sath chizig'ini quramiz:



15.8-rasm. Erkin egri sath chizig'i grafiqi.

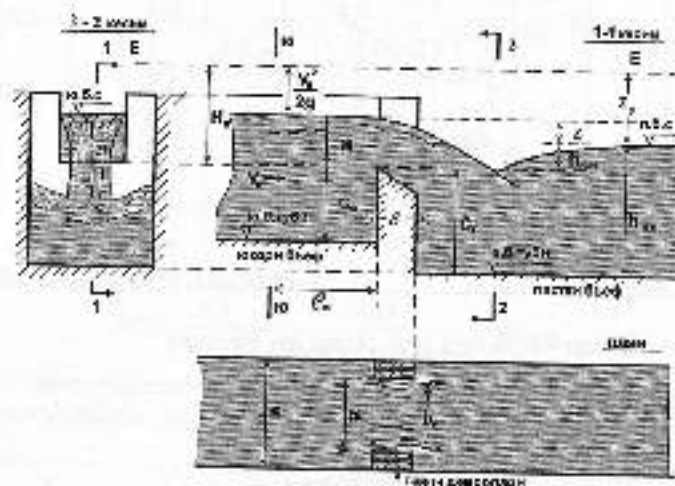
XV bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Barqaror notekis harakat differensial tenglamasi.
2. Erkin sirt egriligidning shakli. Erkin egri suv sathi chizig'i.
3. Notekis harakat differensial tenglamasining (integrallash) tahlili.
4. Charnomskiy usulida notekis harakat differensial tenglamasini integrallash.

XVI BOB. GIDROTEKNIK INSHOOTLAR GIDRAVLİKASI

16.1. Suv o'tkazgichlar. Asosiy tushunchalar va suv o'tkazgichlar tasnifi

Suv o'tkazgichlar deb, oqim harakati yo'liga qurilgan to'siq(devor)ga aytiladi. Devorning suv oshib o'tayotgan qismi *suv o'tkazgich devori* deb ataladi.



16.1-rasm. Suv o'tkazgich sxemasi.

Suv o'tkazgich devorigacha bo'lgan soha - yuqori byef (YUB), devordan keyingi soha - pastki byef (PB) deb ataladi.

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$\frac{y_{yub}}{C}$ - yuqori byefdagi suv sathining belgisi;

$\frac{y_{pb}}{C}$ - pastki byefdagi suv sathining belgisi.

b - suv o'tkazgich devorning kengligi;

δ - suv o'tkazgich devorning qalinligi;

S_{yu} va S_{pb} - suv o'tkazgich devorning yuqori va pastki byeflar tomonidan balandliklari;

B_0 - suv o'tkazgich qurilgan o'zan kengligi;

Z - suv o'tkazgichdagi geometrik farq, ya'ni yuqori va pastki byeflardagi suv oqimi sathlari farqi;

l_0 - suv o'tkazgichdagi to'liq farq: $Z_0 = Z + \frac{\alpha Q_0^2}{2g}$;

Q_0 - YU-YU kesimdagi oqimning o'rtacha tezligi, yoki yaqinlashish tezligi

$$Q_0 = \frac{Q}{\omega};$$

ω - (YU-YU) kirish qismidagi tirik kesim yuzasi;

H - suv o'tkazgichdagi geometrik napor, bu suv o'tkazgich devoridan suv sathigacha

bo'lgan masofa;

H_0 - suv o'tkazgich oldidagi to'liq napor:

$$H_0 = H + \frac{\alpha Q_0^2}{2g}$$

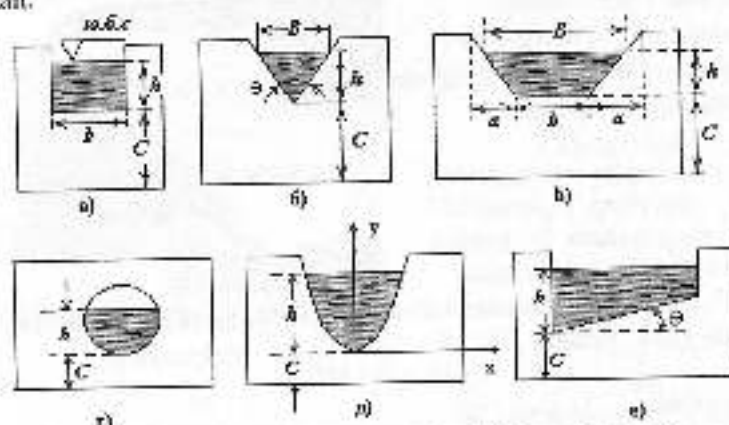
h_{yub} - suv o'tkazgichdagi ko'milish chuqurligi $h_{yub} = h_{yub} - C_0$;

l_{yub} - suv oqimi sathi egrilari boshlanadigan YU-YU kesimgacha bo'lgan masofa, tajrihlar natijasiga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$l_{yub} = (3 \div 5)H.$$

Suv o'tkazgichlar tasnifi

1. Suv o'tkazgich qirg'irigining shakli bo'yicha (16.2 -rasm): a) to'g'ri to'rtburchakli; b) uchburchakli; v) trapeziya ko'rinishida; g) aylana; d) parabola; e) qiya ostonali.



16.2 - rasm. Suv o'tkazgich qirg'irigining shakllari.

2. Suv o'tkazgich devorining ko'ndalang kesim shakli va kengligi bo'yicha:

a) *yupqa devorli suv o'tkazgichlar* (16.3 - rasn).



16.3 - rasn. Yupqa devorli suv o'tkazgich.

Bunday o'tkazgichlarda oqimning harakatiga faqat suv o'tkazgich devorining yuqori ostonasi ta'sir ko'rsatadi. Bunday suv o'tkazgichlarda ostonaning kengligi:

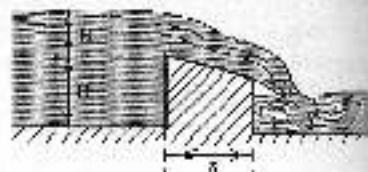
$$\delta \leq (0,1 + 0,67)H$$

shart bajariladi.

b) *amaliy profilli suv o'tkazgichlar* (16.4 - rasn).

Bunday suv o'tkazgichlarda $0,67 \cdot H < \delta < 2 \cdot H$

shart bajariladi.



16.4 - rasn. Amaliy profilli suv o'tkazgichlar.

v) *keng ostonali suv o'tkazgichlar* (16.5 - rasn).

Bunday suv o'tkazgichlarda δ kenglik quyidagi ikki shartni qanoatlantirishi kerak:

1) δ uzunligida energiyaning uzunlik bo'yicha yo'qolishi hisobga olinasa ham bo'ladigan darajada kichik bo'lishi kerak:

2) δ - uzunlik ma'lum qismida oqimning tekis o'zgaruvchan harakati kuzatilishi kerak, bunda

$$2H \leq \delta \leq 8H$$

shart bajariladi.

$\delta > 8H$ bo'lganda suv o'tkazgich emas, kanal bo'lishi mumkin,

$\delta < 2H$ bo'lganda esa suv oqimining tekis o'zgaruvchan harakati amalga oshmaydi.

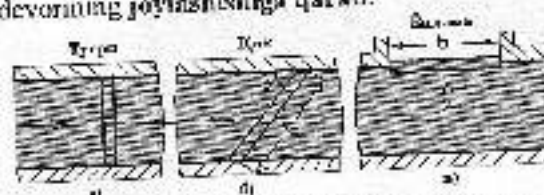


16.5 - rasn. Keng ostonali suv o'tkazgichlar.

3. Planda suv o'tkazgich devorining joylashishiga qarang:

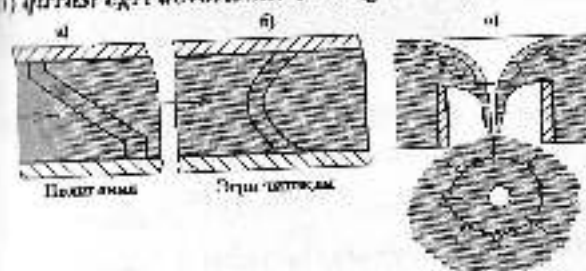
a) *to'g'ri yoki oqimga perpendikulyar suv o'tkazgichlar* (16.6 - rasn):

Chizmada suv oqimiga to'g'ri (a), qiya (b) va yon tomondan (b) joylashgan suv o'tkazgichlar ko'rsatilgan.



16.6 - rasn. Qirrali to'g'ri chiziqli bo'lgan suv o'tkazgichlar.

b) *qirrali egri devorli suv o'tkazgichlar* (16.7 - rasn):



Chizmada poligonal (a), egri chiziqli (b), yopiq, xususan aylana shaklda (b) suv o'tkazgichlar ko'rsatilgan.

16.7 - rasn. Planda qirrali egri chiziqli bo'lgan suv o'tkazgichlar.

4. Oqim harakatiga pastki byel ta'siriga qarang:

a) *Ko'milmagan suv o'tkazgichlar.*

Bunda yuqori byeldagi oqim sur'ati (Q), napor (H) va pastki byeldagi chuqurlikka bog'liq emas, demak

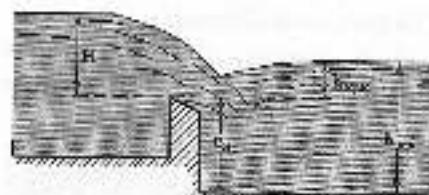
$$h_{e,p} \leq C_e \text{ yoki } h_{e,p} = h_{e,p} - C_e$$

<1>

bu yerda C_p - suv o'tkazgich devorining pastki byel tomonidan balandligi.



16.8 - rasn. Ko'milmagan suv o'tkazgich



16.9-rasm - Ko'milgan suv o'tkazgich.

b) Ko'milgan suv o'tkazgich (16.9-rasm).

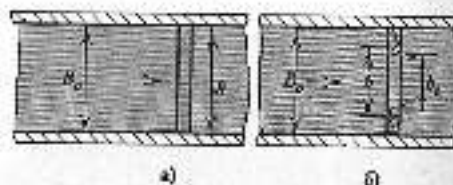
Bunda byefdagi oqim sarfi (Q), napor (H) va pastki byefdagi $h_{p,b}$ chuqurligiga bog'liq.

$$h_{p,b} > C_0 \text{ yoki } h_{p,b} - C_0 > 0$$

5. Suv oqimining plandagi siqilishiga qarab: (b va B_0 kattaliklar munosabati bilan tasniflanadi).

a) $b = B_0$ bo'lgan holda, yon tomonidan oqimning siqilishi bo'lmagan suv o'tkazgichlar (16.10-rasm-a).

b) $b < B_0$ bo'lganda, oqimning yon tomonidan siqilishi bor bo'lgan suv o'tkazgichlar (16.10-rasm-b).

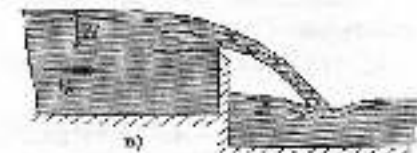
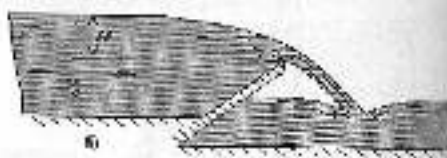
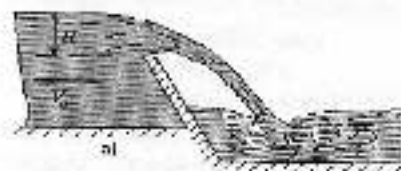


16.10-rasm - Oqim yon tomonidan va siqilgan holatdagi suv o'tkazgichlar.

6. Suv o'tkazgichlarni oldingi qirrasini qiyaligi bo'yicha:

a) oldingi qirrasining qiyaligi yuqori byef tomoniga;

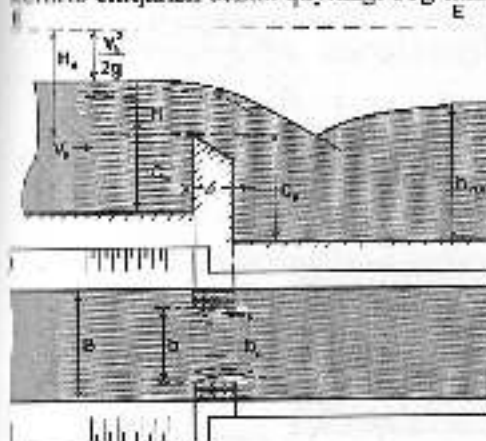
b) oldingi qirrasini qiyaligi pastki byef tomoniga;



v) oldingi qirasi vertikal.

16.2. Suv o'tkazgichlarning asosiy hisoblash formulasi

Suv o'tkazgichlarning asosiy hisoblash formulasini (16.11-rasm) keltirib chiqarish uchun quyidagi bog'lanishlardan foydalanamiz:



$$\begin{aligned} Q &= m \cdot b \cdot H_0 \\ \omega &= b \cdot H \\ g &= \sqrt{2gH} \\ Q &= (b \cdot H) \cdot (\sqrt{2gH}) \\ Q &= m \cdot b \cdot H \cdot \sqrt{2gH} \end{aligned}$$

Bunda "m" - proporsionallik koeffitsiyenti - suv o'tkazgichning *sarf koeffitsiyenti* deb ataladi.

Tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

16.11-rasm - Suv o'tkazgichning plan va svenasi.

yoki oxirgi ko'rinishda

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

1. Bunda $H_0 = H + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ - suv oqimining yaqinlashish tezligini

hisobga olgan holda.

2. Yon siqilishini hisobga olish:

$$b_c = \varepsilon \cdot b$$

bu yerda ε - yon siqilish koeffitsiyenti.

3. Suv o'tkazgich ostonasining yuqori byef tomonidan shaklini hisobga

olganida - sarf koeffitsiyenti m orqali.

4. Pastki byef tomonidan ko'milishini (σ_{ko} - ko'milish koeffitsiyenti) hisobga olganida σ_{ko} - koeffitsiyent Bazen formulasi orqali aniqlanadi:

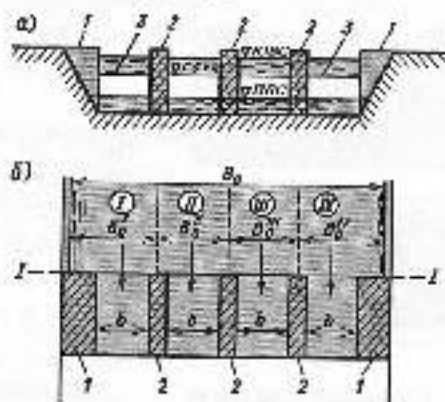
$$\sigma_{ko} = 1.05 \cdot \left(1 + 0.2 \frac{H_{0,ko}}{C}\right) \cdot \sqrt{\frac{Z}{H}}$$

U holda suv o'tkazgichlarning asosiy hisoblash formulasi:

$$Q = \sigma_{ko} \cdot m \cdot \varepsilon \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}$$

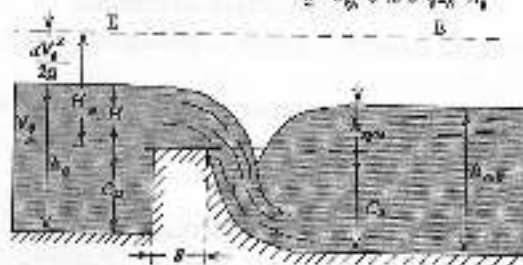
16.3. Amaliy profilni suv o'tkazgichlar

Amaliy devorli suv o'tkazgichlar gidrotexnik inshootlarning elementlari sifatida juda ko'p qo'llaniladi. Ostona kengligi bu xil suv o'tkazgichlarda (16.12-rasm) quyidagicha bo'ladi: $0,67 \cdot H < \delta < 2 \cdot H$.



Suv o'tkazgichdan o'tayotgan sarf formulasi:

$$Q = \sigma_m \cdot \epsilon \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2}$$



16.12-rasm - Amaliy profilni suv o'tkazgichlar.

$\alpha = 1$ deb qabul qilamiz (Koriolis koeffitsiyenti).

b) Agar $\delta_0 < 0,361 \sqrt{H}$ bo'lsa, unda $H_0 = H$ bo'ladi.

2. Suv o'tkazgichni kirish qismini hisobga olish (sarf koeffitsiyentini m aniqlash).

Formuladagi hadlarni aniqlaymiz:

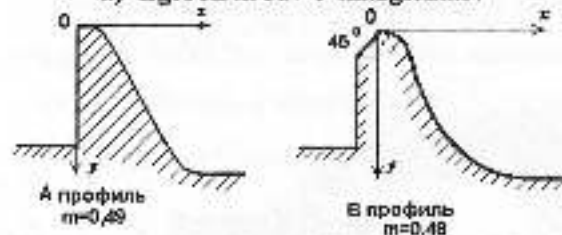
1. Yaqinlashish tezligini hisobga olish shartlari:

a) Agar $\delta_0 \geq 0,361 \sqrt{H}$ bo'lsa $(\delta_0 = \frac{Q}{w_0})$

$$H_0 = H + \frac{\alpha}{2} \frac{Q^2}{g}$$

Bu holda suv o'tkazgichlarning quyidagicha qo'shimcha tasnifini e'tiborga olishga to'g'ri keladi.

a) Egri sirtli suv o'tkazgichlar:



A profil - vakuumsiz suv o'tkazgichlar uchun sarf koeffitsiyenti $m = 0,49$ teng. Bunda oqim ostidagi bosim atmosfera bosimi bilan deyarli bir hil bo'ladi.

B profil uchun sarf koeffitsiyenti $m = 0,48$, suv o'tkazish qobiliyati ko'payadi, lekin kavitatsiya hodisasi mavjud bo'ladi.

b) Poligonal suv o'tkazgichlar

Sarf koeffitsiyentini (m) V.A.Bolshakov formulasi asosida aniqlaymiz:

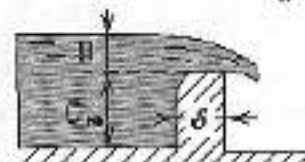
agar $\delta > 0,6 \cdot H$ (16.13-rasm)

$$m = 0,42 \cdot (0,7 + 0,185 \cdot \frac{H}{\delta})$$

6.13-rasm - Poligonal to'rburchak shaklidagi suv o'tkazgich sxemasi.

agar $0,5 \cdot H < \delta < 2 \cdot H$ va kirish qismidagi qirra egri shaklda bo'lsa (16.14-rasm):

$$m = 0,44 \cdot (0,7 + 0,185 \cdot \frac{H}{\delta})$$



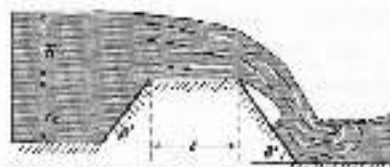
16.14-rasm - Kirish qismidagi qirra aylana shaklidagi suv o'tkazgich.

c) Trapetsiya shaklidagi suv o'tkazgichlar (16.25-rasm).

$$\operatorname{ctg} \theta' = S' \quad \operatorname{ctg} \theta'' = S''$$

$$m = f(\frac{H}{\delta}; S'; S'')$$

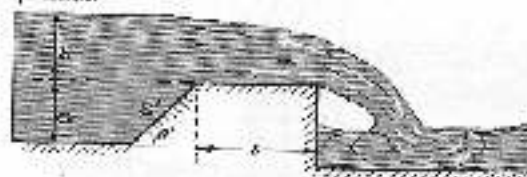
$$2H < C_{\alpha} < 3H$$



16.15-rasm - Trapetsiya shaklidagi suv o'tkazgich sxemasi.

Devor balandligiga qarab, amaliy profilni suv o'tkazgichlar quyidagicha tasniflanadi:

1. **Past devorli suv o'tkazgichlar** ($0,5 < \frac{C_c}{H} < 2$) 16.16 va 16.17 rasmlarda ko'rsatilgan shakllar uchun sarf koeffitsiyenti (m) quyidagicha aniqlanadi:



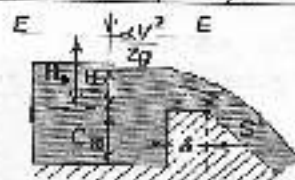
16.16-rasm - Kirish qismidagi qirrasini trapeziya shakldagi suv o'tkazgich.

$$m = \frac{\delta}{H_s} \cdot C$$

Formuladagi "B" va "C" qiymatlarini, yuqori byef tomondagi suv o'tkazgich qirrasining gorizontga bo'lgan burchakning kotangensi bilan bog'langan holda quyidagi jadvaldan aniqlanadi:

16.1-jadval

S	1	2	3	5	10
B	2,9	2,81	2,79	2,77	2,72
C	0,27	0,21	0,2	0,17	0,09



16.17-rasm - Pastki byef tomondagi qirrasini trapeziya shakldagi suv o'tkazgich.

29-rasmdagi poligonali suv o'tkazgichlar uchun sarf koeffitsiyenti «m» qiymatlari pastki tomondagi suv o'tkazgich qirrasining gorizontga bo'lgan burchakning kotangensi S' va δ/H_s -ga bog'liq holda quyidagi jadvaldan aniqlanadi (16.2-jadval):

16.2-

jadval

S'	Sarf koeffitsiyenti «m» qiymatlari: δ/H_s asosida					
	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,5
1	0,46	0,415	0,395	0,37	0,35	0,34

2	0,445	0,42	0,4	0,375	0,345	0,33	0,33
3	0,42	0,4	0,38	0,36	0,335	0,325	0,325
5	-	0,38	0,365	0,35	-	-	-
10	-	0,35	-	-	-	-	-

sarf koeffitsiyenti huddi keng ostonali suv o'tkazgichlar uchun qabul qilingandek olinadi.

2. **O'rta devorli suv o'tkazgichlar** ($2 < \frac{C_c}{H} < 3$ va $S = S' - 1 : 2$)

Agar $\frac{\delta}{H} < 0,5$ bo'lsa, sarf koeffitsiyenti $m=0,445$ qabul qilinishi mumkin.

Agar $0,5 \leq \frac{\delta}{H} < 2$ bo'lsa, sarf koeffitsiyenti "m" quyidagi

formuladan topiladi:

$$m = \frac{1}{\sqrt{1,5 + 2 \frac{\delta}{H_s}}}$$

16.3-

jadval

S va S'	H:δ			
	0,5	1,0	1,5	2,0
S=3	0,36	0,39	0,4	0,44
S'=1	0,37	0,40	0,41	0,44
S'=2	0,33	0,37	0,41	0,42
S'=3	0,33	0,36	0,40	0,41

3. **Baland devorli** ($C_c \geq 2 \cdot H$ va $S = S' - 1 : 2$) suv o'tkazgichlar uchun $\delta/H < 0,5$ bo'lganda sarf koeffitsiyenti $m=0,445$ teng deb qabul qilinadi.

$0,5 \leq \delta/H < 2$ bo'lganda esa, sarf koeffitsiyenti quyidagi formula yordami bilan aniqlanadi:

$$m = \frac{1}{\sqrt{1,2 + 2,5 \frac{\delta}{H_s}}}$$

16.4-jadval

S va S'	H:δ			
	0,5	1,0	1,5	2,0
S=3	0,37	0,40	0,41	0,42
S'=5	0,37	0,39	0,40	0,41
S'=10	0,37	0,39	0,39	0,40

$S^0 = 1$	0,34	0,36	0,38	0,40
$S^0 = 5$	0,34	0,35	0,37	0,38
$S^0 = 10$	0,34	0,35	0,36	0,36

2. Amaliy profilni suv o'tkazgichlar uchun *yon siqilish koeffitsiyentini* aniqlash

$$b_s = \varepsilon \cdot b$$

ε - yon siqilish koeffitsiyenti: tayanch va oraliq devorlarning (ustun) plandagi shakliga qarab, quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \frac{\xi_v + (N-1) \cdot \xi_o}{N} \cdot \frac{H_0}{b}$$

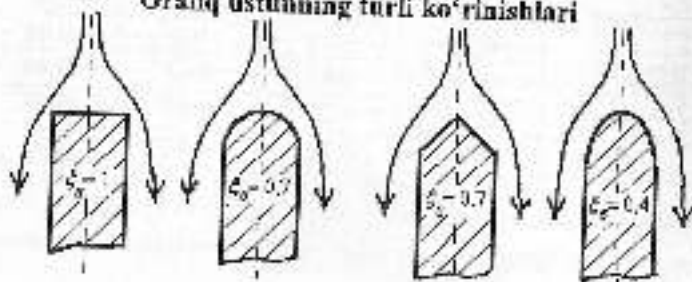
bunda: N - bo'limlar (oraliqlar) soni;

ξ_v - torayish koeffitsiyenti bo'lib, tayanch devorlarining kirish qismi shakliga bog'liq;

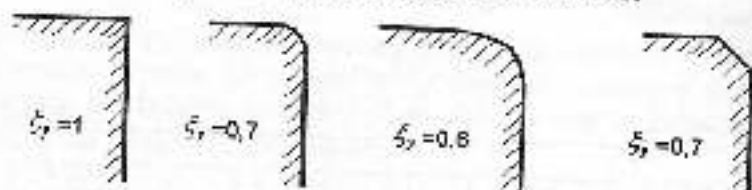
ξ_o - torayish koeffitsiyenti bo'lib, oraliqdagi tik devorning plandagi shakliga bog'liq;

b - bir oraliq kengligi.

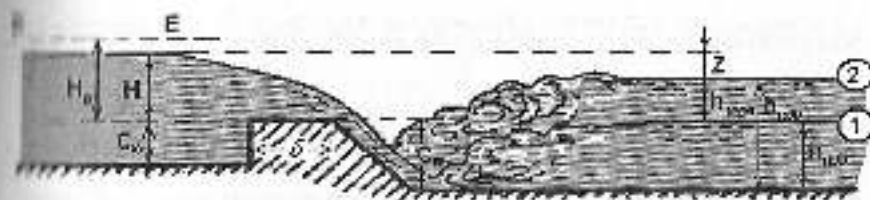
Oraliq ustunning turli ko'rinishlari



Tayanch devorlarning turli ko'rinishlari



3. Amaliy profilni suv o'tkazgichlarda *ko'milish koeffitsiyentini* aniqlash.



16.18-rasm - Amaliy profilni suv o'tkazgich sxemasi.

$$h_{\text{pas}} = h_{\text{pas}} - C_{\text{pas}}$$

$$Z = H_0 - h_{\text{pas}}$$

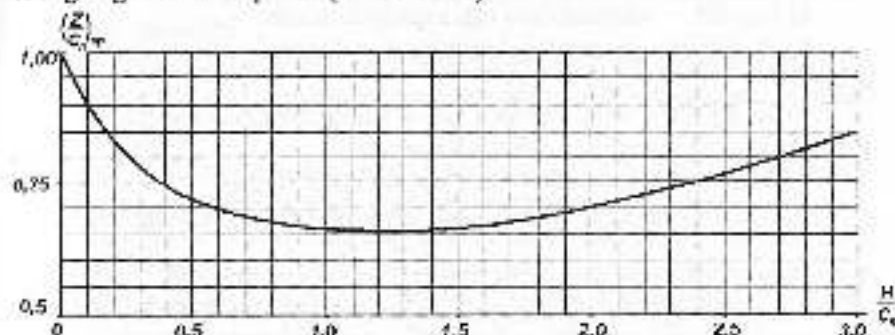
Quyidagi ikki shart bir vaqtda bajarilganda, suv o'tkazgichlar ko'milgan hisoblanadi:

1) pastki byefdagi suv sathi o'tkazgich qirrasidan yuqori bo'lsa, $h_{\text{pas}} > 0$;

2) pastki byefda oqimning tinch holatdagi harakati mavjud bo'lsa. Agar oqim harakati notinch bo'lsa, pastki byefda haydalgan gidravlik sakrash ro'y beradi va shu sababli suv o'tkazgich ko'milmagan bo'ladi. [16.18-rasmdagi 1-chi vaziyat]. $B=B_0$ bo'lgan xususiy holda pastki byefda oqimning tinch harakati mavjud bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\frac{Z}{C_{\text{pas}}} = \left(\frac{Z}{C_{\text{pas}}} \right)_{\text{kr}}, \text{ unda } \sigma_{\text{pas}} < 1.$$

Bunda sathlar orasidagi farqni (Z) suv o'tkazgich devorining pastki byefdagi balandligiga nisbatining kritik qiymati maxsus tajribalar asosida tuzilgan grafikdan topiladi (16.19-rasm).



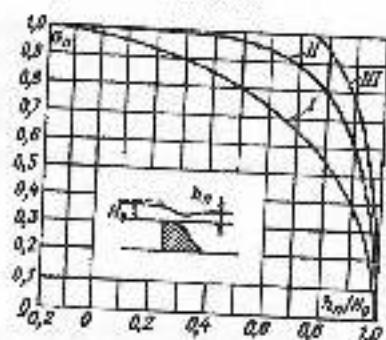
16.19-rasm- $\left(\frac{Z}{C_{\text{pas}}} \right)_{\text{kr}} = f\left(\frac{H}{C_{\text{pas}}} \right)$ egriligi grafigi

Shu grafikdan ko'rinib turibdiki, $(\frac{Z}{C})_n$ qiymati asosan 0,5-0,75 oraliq'ida o'zgaradi.

Agar suv o'tkazgich ko'milgan bo'lsa $(\frac{Z}{C})_n \leq (\frac{Z}{C})_n$ bo'ladi, ko'milish koeffitsiyenti σ_{ov} qiymatini G.D. Deryugin formulasi orqali aniqlasa bo'ladi:

$$\sigma_{\text{ov}} = \left[1 - \left(1 - \left(1 - \frac{h_{\text{ov}}}{H_1} \right)^3 \cdot \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{m}{0,59} \right)^{1,49}} \right)^2 \right]$$

Ko'milish koeffitsiyentining kattaligi tajribalar asosida qurilgan grafik yordamida ham aniqlanishi mumkin.



Grafikda uchta egrilik ifodalangan:

- a) I egrilik – vakuumli suv o'tkazgichlar uchun;
- b) II egrilik – normal ko'rinishdagi vakuumsiz suv o'tkazgichlar uchun;
- v) III egrilik – keng ostonali suv o'tkazgichlarga o'xshash bo'lgan vakuumsiz keng qirrali suv o'tkazgichlar uchun.

Yoki quyidagi jadvaldan qabul qilishimiz mumkin.

Suv o'tkazgichlarning ko'milish koeffitsiyent σ_{ov} aniqlash jadvali

$\frac{h_{\text{ov}}}{H}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
σ_{ov}	1	0,998	0,996	0,991	0,983	0,972	0,957	0,947	0,933	0,918	0,896	0,870	0,839	0,801	0

16.5 - jadval

(Andreyevskaya A.V. Zadachnik po gidravlike. 1970, 284-285 bellar, 8-4 jadval)

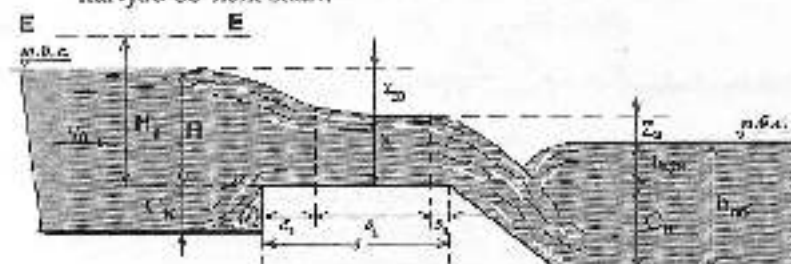
Agar shu shartlardan aqalli bittasi bajarilmasa, suv o'tkazgich ko'milmagan bo'lib, $\sigma_{\text{ov}} = 1$ bo'ladi.

16.4. Keng ostonali suv o'tkazgichlar

Keng ostonali (devorli) suv o'tkazgichlar gidrotexnik inshootlarning asosiy elementlari sifatida juda keng tarqalgan.

Uning gorizontal ostonasining eni $(2...3)H \leq b \leq (8...10)H$ oraliq'ida bo'ladi, unda:

- a) shu uzunlikda yo'qolish juda kichkina bo'lishi kerak;
- b) ostona ustidagi oqimning tinch holatdagi harakati gorizontal sohada mavjud bo'lishi shart.

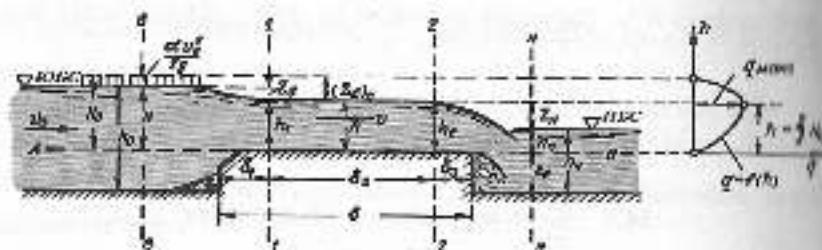


16.20- rasm - Keng ostonali ko'milgan suv o'tkazgich sxemasi.

Bu yerda: Z_0 , h_0 - keng ostonali ko'milgan suv o'tkazgichlarda suv sathining pasayishi.

Ostonadagi gorizontal sohaning boshlanishi va tugashi uzunligini quyidagi tajribaviy qiymatlarga teng deb qabul qilish mumkin: $\delta_1 = 2H$; $\delta_2 = (0+1)H$.

Suv o'tkazgichda ostonaning ko'tarilganligi hisobiga harakatdagi kesim yuzasi kichiklashadi (chuqurlik kamaygani uchun). Buning natijasida, tezlik oshib, oqimning kintik energiyasi oshadi va potentsial energiya kamayadi. Potentsial energiyaning kamayishi esa, o'z navbatida, oqimning erkin sirt egriligi pasayishiga olib keladi.



To'g'riburchakli, ko'milmagan yon tomondan siqilishi yo'q bo'lgan keng devorli suv o'tkazgichlarning asosiy sarfini topish formulasi.

D.Bernulli tenglamasini 1-1 va 2-2 kesimlarga 0-0 solishtirish tekisligiga nisbatan yozsak, quyidagi formula kelib chiqadi (16.20-rasm).

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha \beta_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha \beta_2^2}{2g} + h_{w,1-2} \quad (16.1)$$

Bunda: $Z=H$, $P_1=P_{atm}$, $s_1=s_0$, $Z_2=h$, $P_2=P_{atm}$, $s_2=s$;

$$h_{w,1-2} = h_s = \xi_{c,1} \frac{\beta^2}{2g} \text{ bo'ladi.}$$

Ushbu qiymatlarni (16.1) tenglamaga qo'ysak, bundan

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_{c,1}}} \cdot \sqrt{2g(H_0 - h)} \text{ bo'ladi.}$$

Qayerda: $\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi_{c,1}}}$ - tezlik koeffitsiyenti;

$\beta_1 \leq 0,361\sqrt{H}$ bo'lsa, $H_0=H$ deb qarash mumkin.

$H_0 = H + \frac{\alpha \beta_0^2}{2g}$ - to'la napor (dam) balandligi, xuddi amaliy

profil suv o'tkazgichlar uchun hisobga olganday aniqlanadi.

Unda sarf $Q = \varphi \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot g(H_0 - h)} = \varphi \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g(H_0 - H)}$.

Agar $k = \frac{h}{H_0}$ deb belgilasak, $Q = \varphi \cdot k \cdot \sqrt{1-k} \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0^2}$ bo'ladi.

$m = \varphi \cdot k \cdot \sqrt{1-k}$ - sarf koeffitsiyenti deb belgilansa (ostonaning kirish qismining balandligi va shakli bilan bog'langan);

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g \cdot H_0^{3/2}}$$

Agar keng devorli suv o'tkazgichlar yonboshdan siqilsa va ko'milgan (dimlangan) bo'lsa, siqilish koeffitsiyenti ϵ va ko'milish koeffitsiyenti σ_{km} -lar alohida hisobga olinadilar.

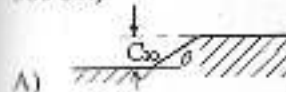
Unda sarf formulasining umumiy ko'rinishi quyidagicha bo'ladi.

$$Q = m \cdot \sigma_{km} \cdot \epsilon \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot H_0^{3/2}}$$

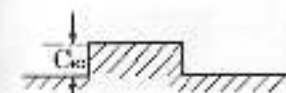
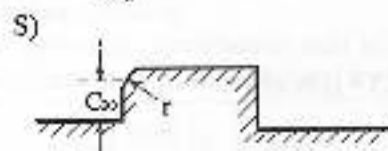
ϵ - yon siqilish koeffitsiyenti, yon va o'tkazgich (o'rta) devorlarining (ustunlarining) plandagi shakllari bilan bog'langan.

1. Sarf koeffitsiyentini aniqlash.

Sarf koeffitsiyentni D.I. Kumin usulida aniqlaymiz (R.R.Chugayev, 166 bet).



$$B) m = f\left(\frac{C_{co}}{H_0}, \frac{r}{H_0}\right)$$



B.A.Baxmetev ilmiy izlanishlariga asosan

B - sxema uchun:

$$1) \varphi = 0,85; m = 0,32; K = 0,59$$

$$2) \varphi = 0,92; m = 0,35; K = 0,63$$

S - sxema uchun:

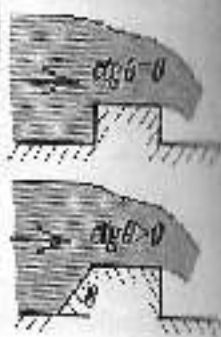
$$1) m = 0,32 + 0,01 \frac{3 - \frac{C_{co}}{H}}{0,46 + 0,75 \frac{C_{co}}{H}}; \quad 0 \leq \frac{C_{co}}{H} \leq 3 \text{ agar } \frac{C_{co}}{H} > 3$$

$$2) m = 0,36 + 0,01 \frac{3 - \frac{C_{co}}{H}}{1,2 - 1,5 \frac{C_{co}}{H}}; \quad 0 \leq \frac{C_{co}}{H} \leq 3 \text{ agar } \frac{C_{co}}{H} > 3; \quad \frac{r}{H} = 0,2 \text{ o'g'}$$

Yon tomondan siqilmagan keng ostonali suv o'tkazgichlarda sarf koeffitsiyenti "m"-ni qiymatlari (R.R.Chugayev kitobidan 421 bet 11-1, 11-2 jadvallar) jadvallardan olinadi.

16.6 -jadval

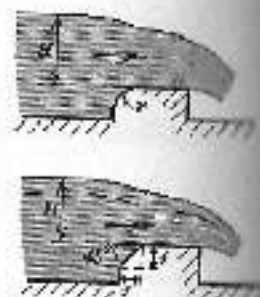
$\eta = \frac{C_v}{H}$	Vertikal qirralari $\alpha\theta = 0$	$\alpha\theta$			
		0,5	1,0	1,5	>2,5
0,0	0,385	0,385	0,385	0,385	0,385
0,2	0,366	0,372	0,377	0,380	0,382
0,4	0,366	0,365	0,373	0,377	0,381
0,6	0,350	0,361	0,370	0,376	0,380
0,8	0,45	0,327	0,368	0,375	0,379
1,0	0,342	0,355	0,367	0,374	0,378
2,0	0,333	0,349	0,363	0,371	0,377
4,0	0,327	0,345	0,361	0,370	0,376
8,0	0,324	0,343	0,360	0,369	0,376
∞	0,32	0,340	0,358	0,368	0,375



A.R. Berezovskiy formulasi: $\xi = \frac{2}{3} \frac{0,385 - m}{0,95 - 2m}$, $\varphi = 1 - \frac{0,385 - m}{\frac{1}{m} - 1,8}$

16.7 - jadval

$\eta = \frac{C_v}{H}$	$\frac{r}{H}$ yoki $\frac{z}{H}$		$\frac{r}{H}$			
	0,02 5	0,05	0,2	0,6	>1,0	
0	0,38 5	0,38 5	0,38 5	0,38 5	0,38 5	
0,2	0,37 2	0,37 4	0,37 7	0,38 0	0,38 2	
0,4	0,36 5	0,36 8	0,37 4	0,37 7	0,38 1	
0,6	0,36 1	0,36 4	0,37 0	0,37 6	0,38 0	
0,8	0,35 7	0,36 1	0,36 8	0,37 5	0,37 9	
1,0	0,35 5	0,35 9	0,36 6	0,37 4	0,37 8	
2,0	0,34 9	0,35 4	0,36 3	0,37 1	0,37 7	
6,0	0,34 4	0,34 9	0,35 9	0,36 1	0,37 6	
∞	0,34 0	0,34 6	0,35 7	0,36 8	0,37 5	

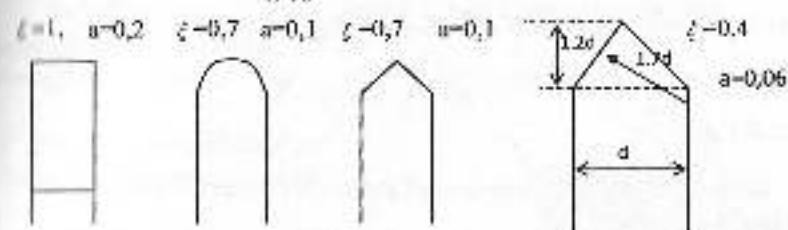


2. Yon siqilish ko'effitsiyentini aniqlash

Yon tomondan siqilish ko'effitsiyenti ε -ni qiymati taxminan quyidagi oraliqda o'zgaradi $\varepsilon=0,85 \dots 0,95$.

$$\varepsilon = 1 - 2\zeta \frac{H_0}{b} \quad \text{Frejjs formulasi}$$

$$\varepsilon = 1 - a \frac{H}{H+b} \quad \text{E.A. Zamarin formulasi}$$



3. Suv o'tkazgich ko'milishini hisobga olish.

Keng devorli suv o'tkazgichlar ko'milgan hisoblanadi, agar $h_k > 0,8 H_0$ bo'lsa, bunda ko'milish ko'effitsiyenti σ_{ks} - ni quyidagicha topiladi

$$\sigma_{ks} = f\left(\frac{h_{ks}}{H_0}\right)$$

(R.R. Chugayev jadval 6-24 va 6-25 Berezinskiy qiymatlari).

G.K. Deryugin formulasi:

$$\sigma_{ks} = \sqrt{1 - \left[1 - \left(1 - \frac{h_{ks}}{H_0}\right) \cdot \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{m}{0,59}\right)}\right]^2};$$

$$\frac{h_{ks}}{H_0} > \left(1 - \frac{m}{0,59}\right)^{0,4}; \quad \sigma_{ks} < 1,0 \quad (0,85 \dots 0,75)$$

16.5. Yupqa devorli suv o'tkazgichlar

Suv o'tkazgichlarning suv o'tkazish qobiliyatini aniqlashda quyidagilar hisobga olinishi shart: suv o'tkazgich devorlarining shakli, kirish tezligi, yonboshdan siqilishi, ko'milishi, planda suv o'tkazgichlar qirrasining ko'rinishi, qiyaligi va hokazolar.

Yupqa devorli suv o'tkazgichlar - suv o'lchagichlar tariqasida keng tarqalgan va aniq suv o'lchashga qobiliyatli va gidrotexnik inshootlar elementlari sifatida (shondorlar, suv o'lchagich devorlar va hoshqalar) keng tarqalgan.

Yupqa devorli suv o'tkazgichlar erkin deb qaraymiz, oqimda pastki byefdan havo kirib turadi.

1. To'g'ri to'rtburchakli vertikal devorli suv o'tkazgichlarning asosiy tenglamasi:

A) ko'milmagan suv o'tkazgichlar uchun sarf: $Q = m b \sqrt{2gH_0^3}$,

m - Bazén formulasi asosida quyidagiga teng: $m = 0,405 + \frac{0,0027}{H}$.

R.R.Chugayev formulasi: $C_{0.5} > 0,5H$ va $H > 0,1$ bo'lganda

$$m = 0,40 + 0,05 \frac{H}{C_{0.5}}.$$

Kirish tezligini e'tiborga olinadigan bo'lsa, Bazén formulasi quyidagicha yoziladi:

$$m = \left(0,405 + \frac{0,0027}{H}\right) \cdot \left[1 + 0,55\left(\frac{H}{H+P_1}\right)^2\right],$$

Yon tomondan siqilish inobatga olinsa,

$$m = \left[0,405 + \frac{0,0027}{H} - 0,03\left(1 - \frac{b}{B}\right)\right] \cdot \left[1 + 0,55\left(\frac{b}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{H}{H+P}\right)^2\right],$$

bu yerda P - suv o'tkazgichdagi yuqori va pastki byef tomonlardagi tub belgilarning farqi.

Ko'milgan suv o'tkazgichlarda sarf:

$$Q = m \cdot \sigma_{0.5} \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot H_0^3}$$

Ko'milish koeffitsiyenti $\sigma_{0.5} = 1,05 \cdot \left(1 + 0,2 \frac{h_0}{C_{0.5}}\right) \cdot \sqrt{\frac{Z}{H}}$ formulasidan,

yoki $\sigma_{0.5} = f\left(\frac{h_0}{P}; \frac{Z}{P}\right)$ qiymatlari orqali grafik yoki jadvaldan ham topilishi mumkin.

16.5.1. Suv o'lchaydigan suv o'tkazgichlar

Suv o'lchaydigan suv o'tkazgichlar tasnifi

I. Suv o'tkazgich devorining xolatiga qarab:

- vertikal devorli;
- burchak ostidagi devorli.

II. Oqimni suv o'tkazgichdan o'tishiga qarab:

- suv erkin oqib o'tadi;

li) suv erkin bo'lmay oqib o'tadi;

Normal suv o'tkazgichdan o'tayotgan suv sarfi:

$$Q = m_{0.5} \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot H^{3/2}}.$$

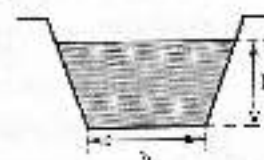
Ko'milgan suv o'tkazgichdan o'tayotgan suv sarfi:

$$Q = \sigma_{0.5} \cdot m_{0.5} \cdot \sqrt{2g \cdot H^{3/2}}.$$

Ko'milmagan suv o'tkazgichlar uchun hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$Q = m_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} \cdot H^{5/2}$$

1^o Trapetsiya shaklidagi suv o'lchagich suv o'tkazgichlar:



Bunday suv o'tkazgichlarda sarf quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = m_0 \cdot b_n \sqrt{2g} \cdot H^{5/2} = m \cdot \varepsilon(b_0 + 0,8 \cdot n \cdot H) \sqrt{2g} H^{5/2}.$$

Agar $\operatorname{tg} \theta = m = 0,25$ ($\theta = 14^\circ$) bo'lganda CHipoletti $m_0 = 0,42$ ekanligini tajribalar asosida aniqlagan. SHu sababli, **Chipoletti suv o'tkazgichi** deb ataluvchi bunday suv o'tkazgichlarda sarf quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = 1,865 \cdot b \cdot H^{3/2} \quad \text{CHipoletti formulasi.}$$

Suv sarfi o'lchaganda $N = (0,05 \dots 1,0)m$, $b = (3 \dots 4)m$; $\theta_2 \leq 0,5$ m/s bo'lganda aniqlik katta bo'ladi.

$\operatorname{tg} \alpha = 1$ bo'lganda, $\theta_2 \leq 0,6$ m/s bo'lsa, suv o'tkazgichlardan o'tadigan sarf qiymatini A.I.Ivanov formulasi orqali topish mumkin:

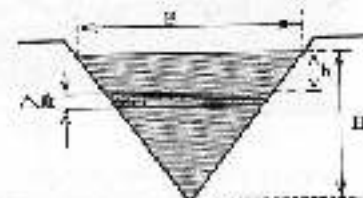
$$Q = 1,86 \frac{b + H}{b + 0,25 \cdot H} \cdot b \cdot H^{3/2}$$

Suv o'tkazgichlar $P_1 > 0$ balandlikka ega bo'lishlari kerak, shunda kirishda oqim kerakli siqilishga ega bo'ladi.

2^o Uchburchak shaklidagi suv o'lchaydigan suv o'tkazgichlar.

Ko'milmagan suv o'tkazgichlar uchun hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$Q = m_0 \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} \cdot H^{5/2}$$



Tomson tajribasiga asoslanib, $\theta = 90^\circ$ va $H = (0.05 \div 0.25) m$ shartlar bajarilganda $m_0 \cdot \lg \frac{b}{2} = 0.316$ deb yozish mumkin, bu holda **Tomson suv o'tkazgichi** deb ataluvchi bu o'tkazgich uchun $g = 9.81 m/s^2$ bo'lgan holda quyidagini yozish mumkin:

$$Q = 1.4 \cdot H^2 - \text{Tomson formulasi.}$$

$$Q = 1.343 \cdot H^{2.0} - \text{King formulasi.}$$

3°. **Parabola shaklidagi suv o'tkazgich:**

$$Q = M \cdot H^2; \quad M = 2.768 \cdot \sqrt{P},$$

16.6. Inshootlar bo'g'inini (gidrouzel)ni hisobi

1-masala Keng ostonali suv o'tkazgichlarning hisobiga doir masala

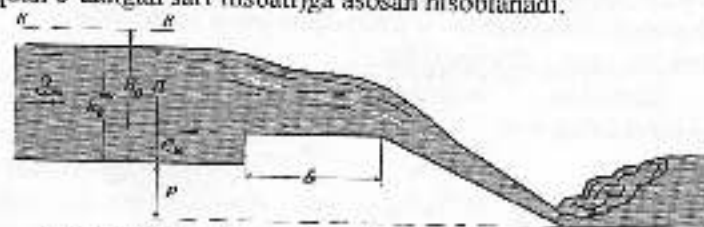
Magistral kanaldagi (MK) to'suvchi inshoot keng ostonali suv o'tkazgich shaklida qurilgan (ostonaning kengligi $2H < s < 8H$, bu yerda H - ostona oldidagi napor).

Ostona kirish qismining shakli (ko'rinishi) va yuqori byefdagi balandligi (C_{av}) berilgan (kurs ishidagi dastlabki ma'lumotlar bo'yicha olinadi). To'suvchi inshoot magistral kanaldan o'tadigan sarfni o'tkazish uchun hisoblanadi.

Berilgan ma'lumotlar: Sharshara tubining nishabligi i , yuqori va pastki byef tublari belgilarining farqi (P). Yon va o'rta ustunlarning (o'rta devorlarning) shakllari talaba ixtiyori bo'yicha tanlab olinadi.

Tezoqar-sharshara qurilganligi uchun MKni to'sadigan inshoot keng ostonali ko'milmagan suv o'tkazgich kabi ishlaydi (demak, ko'milish koeffitsiyenti $\epsilon_{\text{ko'm}} = 1$).

Ostonaning bir oraliq kengligi berilgan $q/H = \Delta$ nisbat orqali aniqlanadi, oraliqlar soni esa magistral kanalda o'tadigan sarf (bir oraliqdan o'tadigan sarf nisbati)ga asosan hisoblanadi.



16.21-rasm - Keng ostonali suv o'tkazgich sxemasi.

Hisoblash tartibi:

1. Suv o'tkazgich oldidagi geometrik naporni aniqlaymiz:

$$H = h_0^{\text{av}} - C_{\text{av}}$$

Bu yerda: h_0^{av} - MK - dagi suv oqimining normal chuqurligi;

C_{av} - suv o'tkazgichning yuqori byefdagi balandligi.

2. Berilgan b/H - Δ nisbatga asosan, bir oraliq kengligini aniqlaymiz va unga eng yaqin bo'lgan standart qiymatini qabul qilamiz:

$$b = \Delta H \rightarrow b_{\text{st}}$$

Standart qiymatlar: b_{st} : 0.2; 0.4; 0.5; 0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 1.5; 1.8; 2.0; 2.5;

3.0; 3.5; 4.0; 4.5; 5.0; 6.0; 7.0 m va xokazo har 1 m dan.

Suv o'tkazgichdagi to'la naporni aniqlaymiz:

$$\text{Agar } g_{\text{av}} \geq 0.361 \sqrt{H} \text{ bo'lsa, unda to'la napor } H_0 = H + \frac{\alpha \cdot g_{\text{av}}^2}{2 \cdot g}.$$

$$\text{Agar } g_{\text{av}} < 0.361 \sqrt{H} \text{ bo'lsa, unda to'la napor } H_0 = H.$$

bu yerda: g_{av} - magistral kanaldagi oqimning o'rtacha tezligi (yaqinlashish tezligi):

$$g_{\text{av}} = \frac{Q_{\text{av}}}{\omega_{\text{av}}} = \frac{Q_{\text{av}}}{(b_{\text{av}} + m h_0^{\text{av}}) h_0^{\text{av}}}.$$

3. Ostonaning pastki byefdagi balandligini aniqlaymiz:

$$C_{\text{av}} = P - C_{\text{st}}, \quad C_{\text{st}} > h_0.$$

4. Ostonaning shakliga qarab, sarf koeffitsiyentini m aniqlaymiz (shu qo'llanmadagi 8-jadval). m - sarf koeffitsiyenti, ustunning shakliga bog'liq

$$\eta = \frac{C_{\text{st}}}{H}.$$

Qirg'oqdagi ustunlarning shaklini tanlab, ularga mos tayanch devorlarining kirish qismi shakliga bog'liq bo'lgan torayish koeffitsiyenti ϵ , qiymatini qabul qilamiz, (shu kitobda 16.28-rasm). Keyin bir oraliq uchun yon siqilish koeffitsiyenti qiymati aniqlanadi:

$$\epsilon = 1 - 0.2 \zeta, \quad \frac{H_0}{b}.$$

bu yerda: H_0 - to'la napor;

$b = b_{\text{st}}$ - bir oraliq (bo'linma) kengligi.

O'rta devor (ustun) – to'suvchi inshootning o'tasida joylashgan devor, **tayanch ustunlar** – inshootning qirg'oqlarida joylashgan devorlar.

5. To'suvchi inshootning bir oraliq'idan o'tadigan sarfni aniqlaymiz (bir oraliqning suv o'tkazish qobiliyatini aniqlaymiz):

$$Q_i = \sigma \cdot \varepsilon \cdot b_{\text{or}} \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0^{3/2}}$$

6. Bo'lumlarning (oraliqlarning) sonini aniqlaymiz:

$$N = \frac{Q_{\text{ort}}}{Q_i}$$

hisoblangan songa eng yaqin bo'lgan butun sonni qabul qilamiz.

Agar $N > 1$ bo'lsa, o'rta ustunlarning shaklini va ularga mos bo'lgan oraliq tik ustunning plandagi ko'rinish shakliga bog'liq torayish koeffitsiyenti ε , (shu kitobda 16.28-rasm) aniqlab, yon siqilish koeffitsiyentiga aniqlik kiritamiz:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \frac{\xi_r + (N-1)\xi_c}{N} \frac{H_0}{b}$$

Natijada suv o'tkazish qobiliyatini aniqlaymiz:

$$Q = m \cdot \varepsilon \cdot N \cdot b_{\text{or}} \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0^{3/2}} \quad (\sigma_{\text{or}} - 1)$$

Aniqlangan sarfning qiymati berilgan Q_{ort} dan kichik bo'lishi mumkin emas: $Q \geq Q_{\text{ort}}$.

Agar kichik bo'lib chiqsa, qirg'oqdagi ustunlarning va o'rta devorlarning shaklini o'zgartirish kerak yoki oraliqlarning sonini ko'paytirish kerak.

7. Inshootdan keyin tezoqar-sharshara qurilgan (ko'ndalang kesimi trapetsiya shaklida bo'lib), uning oxiridagi kengligi

$$b_{\text{m.m}} = 0,8 B_{\text{m.m}}$$

bu yerda: $B_{\text{m.m}}$ – to'suvchi inshoot kengligi.

$$B_{\text{m.m}} = N \cdot b + (N-1)t$$

bu yerda: $t = (0,7 \dots 1,2) \text{ m}$ – o'rta devorning eni.

Amaliy profilni suv o'tkazgichni hisobiga doir masalalar.

2-masala. Taqsimlagich (T-1) kanalning suv o'tkazish qobiliyatini aniqlash

T-1 kanaldagi to'suvchi inshoot amaliy profilni suv o'tkazgich shaklida qurilgan, demak $(0,67N < \delta < 2H)$.

Suv o'tkazgich trapetsiya shaklida ishlangan bo'lib, ostonaning yuqori va pastki hyeflardagi balandliklari (S_{ya} va S_{p}), oraliqlarning soni (N) va bir oraliqning kengligi (b) berilgan bo'lsin.

Suv o'tkazgichning suv o'tkazish qobiliyatini amaliy profilni suv o'tkazgichlarni hisoblash tenglamasidan to'g'ridan-to'g'ri aniqlash murakkab.

$$Q = \sigma_{\text{dli}} \cdot m \cdot b_{\text{or}} \sqrt{2gH_0^{3/2}}$$

Tenglamada m , b , va H_0 parametrlarni berilgan qiymatlar asosida aniqlash uchun kanaldagi suvning chuqurligini aniqlash lozim. Chunki suv o'tkazgich ko'milgan-ko'milmaganligini bilish kerak. Shuning uchun bu masalani grafik usulda Yechishga to'g'ri keladi. Buning uchun (T-1) kanalning ishchi xarakteristika grafigini $Q_{\text{or}} = f(b)$ va suv o'tkazgichning suv o'tkazish qobiliyati grafigi $Q_{\text{or}} = \sigma(b, \delta)$ bilan bog'liq ravishda qurish kerak. Pastki hyefdagi suv oqimi chuqurligiga bir necha qiymat beramiz va shu qiymatlar uchun suv o'tkazgichdan o'tadigan sarfni Q va T-1 kanaldagi suv sarflarini Q_T aniqlaymiz. Hisoblashni to'lar bir-biriga teng bo'lmaguncha davom ettiramiz. Ikki chiziqning kesilish nuqtasi bizga suv o'tkazgichdan o'tadigan suv sarfini beradi.

Hisoblash tartibi:

1. Sxema masshtabda chiziladi.



16.22-rasm - Amaliy profilni suv o'tkazgich sxemasi.

2. Suv o'tkazgichning kirish qismining shakliga qarab, berilgan S_1 va S_2 va $\frac{H}{\delta}$ asosida (kitobdagi 16.6-jadval) sarf koeffitsiyenti aniqlanadi:

$$m = 0,42 \left(0,7 + 0,185 \frac{H}{\delta} \right)$$

3. Ustunlarning qabul qilingan shakliga qarab, ularga mos kelgan koeffitsiyentlarni ζ_1 va ζ_2 tanlab, oraliqlarning kengligini aniqlaymiz:

$$b_{\text{oraliq}} = \varepsilon \cdot N \cdot b$$

u holda, oqimning yon siqilish koeffitsiyenti quyidagi tenglama orqali aniqlanadi

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \frac{\zeta_1 + (N-1) \cdot \zeta_2 \cdot H_1}{N}$$

bu yerda: $H_1 = h_1^* - C_0$ - geometrik napor, (suv oqimining kirish tezligi hisobga olinmaydi, chunki suv o'tkazgich MKdan yonga kelgan va MKdagi tezlikning T-1 ga ta'siri bo'lmaydi);

b - bir oraliqning kengligi;

N - bo'limlarning soni.

4. Suv o'tkazgich kumilmagan deb qarab, suv o'tkazish qobiliyatini aniqlaymiz ($\sigma_{\text{oi}} = 1$):

$$Q = \varepsilon \cdot N \cdot b \cdot m \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

5. Pastki byefdagi (T-1 kanalidagi) suv chuqurligiga har xil qiymatlarni berib, formula bo'yicha sarfini aniqlaymiz.

A) - Agar $\frac{Z}{C_0} > \left(\frac{Z}{C_0}\right)_{\text{oi}}$ bo'lsa, suv o'tkazgich ko'milmagan ($\sigma_{\text{oi}} = 1$),

(chizmada 1-chi vaziyat).

B) - Agar $\frac{Z}{C_0} \leq \left(\frac{Z}{C_0}\right)_{\text{oi}}$ bo'lsa, suv o'tkazgich ko'milgan ($\sigma_{\text{oi}} < 1$),

(chizmada 2-chi vaziyati).

Bu yerda: Z - yuqori va pastki byeflardagi suv sathlarining farqi:

$$Z = H - h_{\text{ost}}$$

C_0 - ostonaning pastki byef tomonidagi balandligi;

h_{ost} - ko'milish chuqurligi:

$$h_{\text{ost}} = h_{1, \text{d}} - \tilde{N}_1$$

Agar suv o'tkazgich ko'milgan bo'lsa $\frac{Z}{C_0} \leq \left(\frac{Z}{C_0}\right)_{\text{oi}}$, ko'milish

koeffitsiyentni σ_{oi} G.D. Deryugin formulasi orqali aniqlanadi:

$$\sigma_{\text{oi}} = \sqrt{1 - \left[1 - \left(1 - \frac{h_{\text{ost}}}{H_0} \right) \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{m}{0,59} \right)^{2/3}} \right]^{3/2}}$$

Suv sarfini quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \sigma_{\text{oi}} \cdot \varepsilon \cdot m \cdot b \cdot N \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad \text{yoki} \quad Q = A \cdot \sigma_{\text{oi}}$$

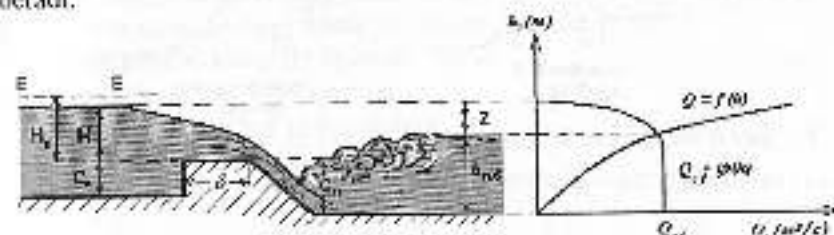
bu yerda: $A = \varepsilon \cdot m \cdot b \cdot N \sqrt{2g} H_0^{3/2}$,

Hisoblashni jadvalda keltiramiz:

16.8-jadval

$h_{1, \text{d}}$	$\frac{Q_{\text{oi}}}{\sigma_{\text{oi}}}$	$\frac{h_{\text{ost}}}{m}$	$\frac{h_{1, \text{d}}}{m}$	$\frac{Z}{m}$	$\frac{Z}{C_0}$	$\left(\frac{Z}{C_0}\right)_{\text{oi}}$	$\frac{h_{\text{ost}}}{H_0}$	σ_{oi}	σ_{oi}	$Q = A \cdot \sigma_{\text{oi}}$
									m^3/s	m^3/s

6. Jadvaldagi qiymatlar bo'yicha suv o'tkazgichning suv o'tkazish qobiliyati grafigi $Q_{\text{oi}} = \varphi(h_{1, \text{d}})$ chiziladi va unga T-1 kanalning ishchi xarakteristikasi $Q_{T-1} = f(h)$ grafigi quyiladi. Ularning kesishish nuqtasi suv o'tkazgichdan o'tadigan sarf qiymatini beradi.



16.23-rasm - Suv o'tkazgichning suv o'tkazish qobiliyatini aniqlash grafigi.

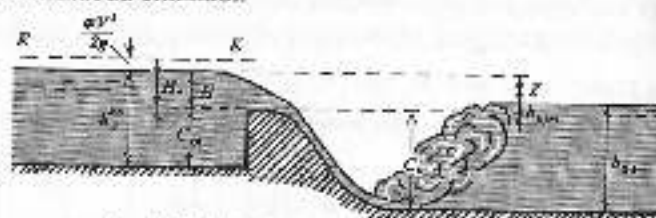
3-masala. Taqsimlagich (T-2) kanalidagi suv o'tkazgich ostonasidagi naporni va ostonaning yuqori byefidagi balandligini aniqlash

T-2 kanalidagi suv o'tkazgich egri chiziqli amaliy profilni suv o'tkazgich shaklida qurilgan. U holda A yoki B profil qabul qilinadi va har biriga mos keladigan sarf koeffitsiyenti olinadi (m). Pastki byef tomonidan ostonani balandligi (S_p), oraliqlarning kengligi (b) va soni (N) berilgan bo'lsin.

Suv o'tkazgich ostonadagi naporni aniqlash uchun yaqinlashish usulidan foydalaniladi, chunki ko'milish koeffitsiyenti (σ_{oi}) va oqimning yon siqilish koeffitsiyenti (ε) qiymatlari napor (H) qiymati bilan bog'langan.

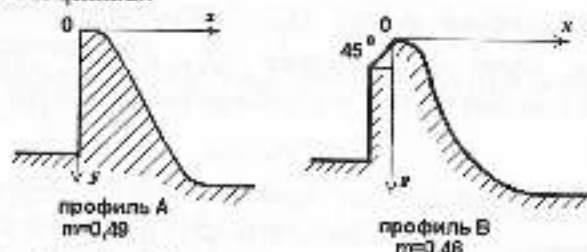
Hisoblash tartibi:

1. Skema masshtabda chiziladi.



16.24 -rasm - Egri chiziqli amaliy profilni suv o'tkazgich sxemasi.

2. Berilgan egri chiziqli suv o'tkazgichning turiga qarab, sarf koeffitsiyenti qabul qilinadi:



3. Suv o'tkazgichni ko'milmagan ($\sigma_{\infty}=1$) va yon siqilishi yo'q deb ($\epsilon=1$) ostonadagi naporni birinchi ko'rinishda aniqlaymiz.

$$H'_0 = \left(\frac{Q}{\sigma_{\infty} \cdot m \cdot \epsilon \cdot b \cdot N \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$$

Bu yerda: Q - T-2 kanalidagi suv sarfi.

4. Hisobga aniqlik kiritamiz. Tanlangan qirg'oqdagi ustunlarning va o'rta devorlarning shakliga qarab koeffitsiyentlarni qabul qilamiz (ζ_{∞} va ζ_r) va yon siqilish koeffitsiyentini aniqlaymiz:

$$\epsilon = 1 - 0,2 \frac{\zeta_{\infty} + (N-1)\zeta_r}{N} \frac{H'_0}{b}$$

4. Amaliy devorli suv o'tkazgich ko'milagan yoki ko'milmaganligini aniqlaymiz:

$$Z = (H'_0 + C_n) - h_{T-2}$$

bu yerda: h_{T-2} - T-2 kanalidagi suvning normal chuqurligi.

$$\left(\frac{Z}{C_n} \right)_{\text{q}}$$

qiymatiga qarab olinadi.

Agar $\frac{Z}{C_n} < \left(\frac{Z}{C_n} \right)_{\text{q}}$ bo'lsa, suv o'tkazgich *ko'milgan* va σ_{∞} G.D.

Deryugin formulasidan aniqlanadi.

Agar $\frac{Z}{C_n} > \left(\frac{Z}{C_n} \right)_{\text{q}}$ bo'lsa, - suv o'tkazgich *ko'milmagan* va $\sigma_{\infty} = 1,0$.

5. Ostonadagi haqiqiy naporni aniqlaymiz:

$$H_2 = \left(\frac{Q}{\sigma_{\infty} \cdot m \cdot \epsilon \cdot b \cdot N \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$$

7. Yuqori byef tomonidan ostonaning balandligi

$$\bar{N}_B = h_0^B - H_0.$$

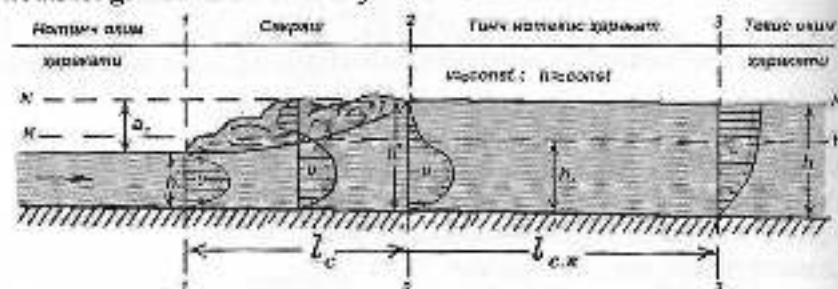
XVI bob bo'yicha nazorat savollari

1. Suv o'tkazgichlar. Asosiy tushunchalar va suv o'tkazgichlar tasnifi
2. Suv o'tkazgichlarning asosiy hisoblash formulasi
3. Amaliy profilni suv o'tkazgichlar
4. Keng ostonali suv o'tkazgichlar
5. Suv o'lchaydigan suv o'tkazgichlar
6. Inshootlar bo'g'inini (gidrouzel)ni hisobi

XVII BOB. GIDRAVLİK SAKRASH

17.1 Gidravlik sakrash va uning elementlari

Suv oqimining notinch holatdan tinch holatga o'tishi gidravlik sakrash orqali amalga oshadi. Shunga asosanib, unga quyidagicha ta'rif berish mumkin: *suv oqimining kritik chuqurlikdan kichik bo'lgan h' chuqurligini undan katta bo'lgan h'' chuqurlikka keskin o'tishi hodisasi gidravlik sakrash deyiladi.*



17.1-rasm - Gidravlik sakrash sxemasi.

- h' - gidravlik sakrashdan oldingi oqim chuqurligi;
- h'' - gidravlik sakrashdan keyingi oqim chuqurligi;
- $a = h'' - h'$ - gidravlik sakrash balandligi;
- l_c - gidravlik sakrash uzunligi;
- $l_{c,x}$ - gidravlik sakrashdan keyingi uchastkaning uzunligi.

Gidravlik sakrash turlari

1. Mukanimal, aylana girdob harakat qismi bor bo'lgan sakrashga aytiladi (17.1-rasm):

$$\frac{h''}{h'} > 2; \quad a > h'.$$

2. Nomukammal (to'liqinsimon), oqimning aylanna harakati yo'qligi bilan ajralib turadi:

$$\frac{h''}{h'} < 2; \quad a < h'.$$

Gidrotexnik inshootga nisbatan:

1. Gidravlik sakrash boshlang'ich holatda:

$$h_c' = h_0,$$

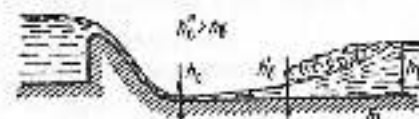
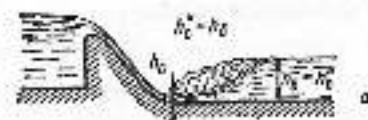
h_0 - kanaldagi chuqurlik.

2. Gidravlik sakrash - uzoqlashgan xolatda - xaydalgan gidravlik sakrash:

$$h_c' > h_0,$$

3. Gidravlik sakrash - ko'milgan holatda:

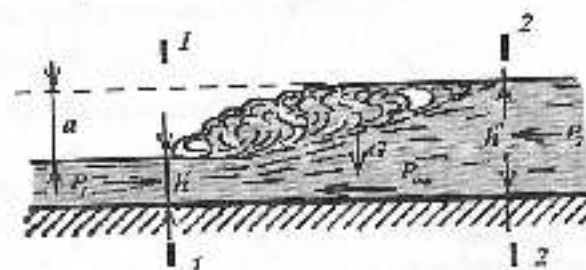
$$h_c' < h_0.$$



17.2. Gidravlik sakrashning asosiy tenglamasi

Tutash chuqurliklar (h' va h'') orasidagi bog'liqliklar prizmatik o'zanlar uchun, quyidagi formula orqali aniqlanadi. Harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teoremlardan:

$$\int \rho(u \omega) u = \rho \int u^2 d\omega = \alpha \rho^2 \omega v = \rho \alpha \beta Q$$



17.2-rasm - Gidravlik sakrash sxemasi.

1-1 va 2-2 kesimlar uchun:

$$i = 0; \quad Q = \text{const};$$

$$\rho \alpha Q (\theta_2 - \theta_1) = P_1 - P_2,$$

$P_1 = \rho g h_1 \omega_1$; $P_2 = \rho g h_2 \omega_2$; ekanligini inobarga olib, gidravlik sakrash funksiyasini quyidagicha ezamiz:

$$\frac{\alpha Q^2}{g \omega_1} + \omega_1 h_1^3 = \frac{\alpha Q^2}{g \omega_2} + \omega_2 h_2^3$$

Bu yerda: ω_1, ω_2 - gidravlik sakrashdan oldingi va keyingi harakatdagi kesimlarning yuzalari;

To'rtburchak kanallar uchun $h_1 = \frac{h}{2}$, h_1^3, h_2^3 - harakatdagi kesim og'irlik markazining chuqurligi (17.2-rasm).

Trapetsiya shakldagi kanallar uchun: $h_1 = \frac{h}{6} \frac{3b + 2mh}{b + mh}$

17.3. Gidravlik sakrash funksiyasi

Gidravlik sakrash funksiyasi: $H(h) = \frac{\alpha Q^2}{g \omega} + \omega h$;

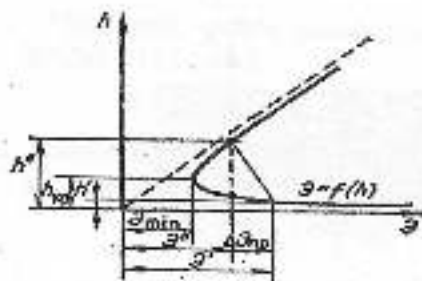
$$\Pi(h_1) = \Pi(h_2).$$

Bu yerda: $\Pi(h)$ - sakrash funksiyasi, $\dim \Pi(h) = L^2(m^2)$;

Q - suv sarfi; α - tegishli chuqurlikdagi oqimning harakatdagi kesimi yuzasi;

ϵ - harakatdagi kesim og'irlik markazining chuqurligi.

To'g'ri burchakli kanallar uchun:



$$H = 0,5H \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^3} - 1 \right];$$

$$H = 0,5H \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^3} - 1 \right].$$

Sakrashdan oldingi h va sakrashdan keyingi h chuqurliklar o'zaro bog'liq bo'lgan tutash chuqurliklar deyiladi. Tutash chuqurliklar uchun sakrash funksiyalari hamisha bir-biriga teng. Sakrash funksiyasi eng kichik qiymatiga ega bo'ladi $\theta = \theta_{\text{min}}$, agar kanaldagi suv chuqurligi kritik qiymatiga h_k teng bo'lganda.

Gidravlik sakrash uzunligini aniqlash

A. To'g'ri to'rtburchak kanallar uchun:

1. M.D.CIIertousov formulasi: $l_k = 10,3H (\sqrt{\Pi_k} - 1)^{1,81}$

$$\Pi_k = \left(\frac{h_k}{h} \right)^3$$

2. F.I.Pikalov formulasi: $l_k = 4H \sqrt{1 + 2\Pi_k}$;

3. N.N.Pavlovskiy formulasi (1937 y.): $l_k = 2,5(1,9H - H)$;

4. Sarantsev formulasi: $l_k = 4,5H^2$;

5. B.Baxmetev va Matske formulasi: $l_k = 5(H' - H)$;

Kanal tub nishabligi katta bo'lgan holda G.N.Kostyakova formulasi qo'llanadi:

$$CH \geq (i - i_0) \quad \ell_{\text{av}} = \ell_n (1 + 3i).$$

B. Trapetsiya shakldagi kanallar uchun:

$$l_k = 3H^2 \left(1 - \sqrt{\frac{B_1 - B_2}{B_1}} \right)$$

bu yerda: B_1 i B_2 - sakrashdan oldingi va keyingi kesimdagi sathdagi kengliklari.

M.D.CIIertousov sakrashdan keyingi uchastkani uzunligini quyidagi formula orqali aniqlashni tavsiya qiladi:

$$\ell_{\text{av}} = (1,3 + 15,6) h_{k0}$$

bu yerda: h_{k0} - pastki byefidagi suv chuqurligi.

Gidravlik sakrashda yo'qolgan energiya (napor)

Kanal tubining nishabligi $i=0$ bo'lganda, gidravlik sakrashda yo'qolgan solishtirma energiyani quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\theta_1 - \theta_2 = h_k$$

2 - gidravlik sakrashdan oldingi kesimdagi solishtirma energiya:

$$\theta_1 = H + \frac{\alpha (\theta_1)^3}{2g}$$

$\mathcal{Z}_2$ - gidravlik sakrashdan keyingi kesimdagi solishtirma energiya:

$$\mathcal{Z}_2 = H^* + \frac{\alpha \cdot (S_2)^2}{2g}$$

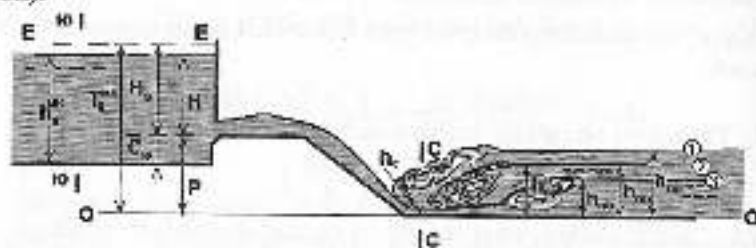
To'g'ri to'rtburchak shakldagi kesimda sakrashda yo'qolgan solishtirma energiyani quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\mathcal{Z}_1 = \frac{u^2}{2gH^*}$$

17.4. Gidravlik sakrash parametrlarini hisobi

Gidravlik sakrashlar 3 xil bo'lishi mumkin:

1. Sakrash ko'milgan $h_c^* < h_{cr}$, (54 - chizmadagi sathning 1-chi holati).
2. Sakrash siqilgan kesimda $h_c^* = h_{cr}$, (54 - chizmadagi sathning 2-chi holati).
3. Sakrash haydalgan $h_c^* > h_{cr}$, (54 - chizmadagi sathning 3-chi holati).



17.3 - rasm - Gidravlik sakrashning hisoblash sxemasi.

Gidravlik sakrashning vaziyatini aniqlash uchun siqilgan kesimdagi suv chuqurligini aniqlaymiz (h_c) (C-C - siqilgan kesim). Siqilgan kesimdagi chuqurlikni (h_c) birinchi (C-C) tutashtirish chuqurlik deb qabul qilamiz h_c , demak sakrash siqilgan kesimda bo'ladi deb qabul qilamiz. Sakrashning ikkinchi tutashtirish chuqurligini (h_c') aniqlab, pastki byefdagi chuqurligi h_c bilan solishtiramiz (53 - rasm).

1. Tezoqar - sharshara oxiridagi siqilgan kesimdagi suv chuqurligini aniqlash h_c .

Hisoblash tartibi:

1. Sxemani masshtabda chizamiz (17.3 - rasm).
2. Kesimlarni (YU-YU va C-C) va taqqoslash tekisligini (O-O) belgilaymiz.

3. D.Bernulli tenglamasini pastki byefdagi kanal tubidan o'tkazilgan taqqoslash tekisligiga (O-O) nisbatan yozamiz:

$$\mathcal{Z}_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 g^2}{2g} = \mathcal{Z}_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 g^2}{2g} + h_{f(O-O)}$$

Tenglamani har bir hadini aniqlab, tenglamani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$P + h_c^{*ox} + \frac{\alpha g^2}{2g} = h_c + \frac{\alpha g^2}{2g} + \xi \frac{g^2}{2g}$$

Tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$T_{cr}^{*ox} = h_c + (\alpha + \xi) \frac{g^2}{2g}$$

Agar quyidagi belgilashlarni kiritsak:

$$\alpha + \xi = \frac{1}{\phi^2},$$

bu yerda ($\phi = 0.9$)

Unda

$$T_{cr}^{*ox} = h_c + \frac{g^2}{2g\phi^2} = h_c + \frac{Q_c^2}{2g\phi^2\omega_c^3}; \quad (17.1)$$

Bu yerda: T_{cr}^{*ox} - taqqoslash tekisligiga (O-O-ga) nisbatan hisoblaganda YU-YU kesimdagi to'la solishtirma energiya qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$T_{cr}^{*ox} = P + h_c^{*ox} + \frac{\alpha g^2}{2g} \quad (17.2)$$

P - MK - ning yuqori va pastki byeflarning tublari belgilarining farqi;

g_0 - yuqori byefdagi yaqinlashish tezligi;

h_c - siqilgan kesimdagi suv oqimining chuqurligi;

g_c - siqilgan kesimdagi suv oqimining o'rtacha tezligi, $g_c = \frac{Q_c}{\omega_c}$;

ω_c - harakatdagi kesim yuzasi, $\omega_c = h_c(b + mh_c)$;

$m = 1$ - tezoqar - sharshara qiyalik koeffitsiyenti;

ϕ - tezlik koeffitsiyenti;

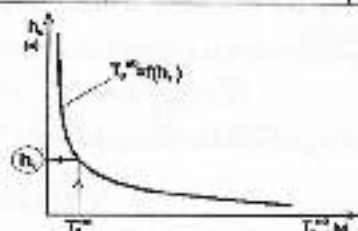
$h_{f(O-O)}$ - kesimlar orasida yo'qotilgan napor.

Yuqori byefdagi to'la solishtirma energiya T_{cr}^{*ox} qiymati ma'lum va siqilgan kesimdagi suv chuqurligini (h_c) tanlash usulida aniqlasa

bo'ladi. h_c -ga bir necha qiymatlarni berib, (1) tenglamaning o'ng tomonini hisoblaymiz. Hisoblash natijalarni jadvalda keltiramiz:

17.1 - jadval

h_c, m	ω_c, m^2	T_c^{so}, m	T_c^{so}, m



17.4-rasm - Kesimning to'la solishtirma energiya grafigi

Jadvaldagi qiymatlar asosida $T_c^{so} = f(h_c)$ grafigini quramiz.

Quyidagi qiymat o'zgarmasdir: $\frac{\alpha Q^2}{2g\omega_c^3 \rho^3} = const$. Grafikdan ma'lum

bo'lgan yuqori byefdagi to'la solishtirma energiyani T_c^{so} qiymatiga qarab h_c - ning qiymatini olamiz.

2. Sakrashning ikkinchi tutashirish chuqurligini aniqlash.

Siqilgan kesimdagi suv chuqurligini birinchi tutashirish chuqurligi deb qabul qilib ($h_c = H$), ikkinchi tutash chuqurligini aniqlaymiz:

$$h_c = H \rightarrow h$$

a) Sakrash funksiyasi grafigi orqali $\Pi(h) = f(h)$

$$\Pi(h) = \frac{\alpha Q^2}{2g\omega} + h_{so}\omega$$

bu yerda: h_{so} - kesim og'irlik markazining chuqurligi:

$$h_{so} = \frac{h(B+2b)}{3(B+b)}$$

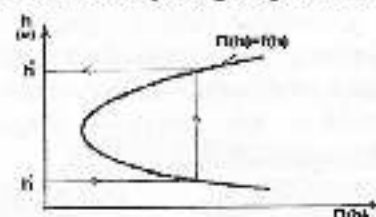
$B = b + 2mh$ - kesimning suv sathidagi kengligi.

Suv chuqurligiga (h) bir necha qiymat berib, $\Pi(h)$ -ni aniqlaymiz.

17.2 - jadval

b, m	s, m^2	$\frac{\alpha Q^2}{2g\omega}$	h_{so}, m	$h_{so}\omega$	$\Pi(h)$

Jadval asosida sakrash funksiyasi grafigini $\Pi(h) = f(h)$ quramiz:



17.5 - rasm - Gidravlik sakrash funksiyasi $\Pi(h) = f(h)$ grafigi

Ma'lum bo'lgan h_c qiymatiga mos ravishda pastki qismi bilan kesishguncha gorizontali chiziq o'tkazamiz. Grafikdan h_{so} qiymatini aniqlaymiz.

b) A.N. Raxmanov formulalari yordami bilan:

$$\zeta' = \frac{1.2}{\zeta''} - 0.2; \quad \zeta'' = \frac{1}{0.167 + 0.834\zeta'}$$

bu yerda ζ' va ζ'' - nisbiy chuqurliklar:

$$\zeta' = \frac{h_c}{h_{so}}; \quad \zeta'' = \frac{h_c}{h_{so}}$$

3. Gidravlik sakrashning xolatini aniqlash

$h_c < h_{so}$ bo'lsa, gidravlik sakrash ko'milgan;

$h_c = h_{so}$ bo'lsa, gidravlik sakrash siqilgan kesimda;

$h_c > h_{so}$ bo'lsa, gidravlik sakrash xaydalgan bo'ladi.

4. Sakrashning uzunligini aniqlaymiz:

$$l_s = 5h_c^2 \left(1 + 4 \sqrt{\frac{B_2 - B_1}{B_1}} \right)$$

$B_1 = b + 2mh_c$ - birinchi tutashiruvchi chuqurlik (h_c) -dagi tirik kesimning suv sathidagi kengligi;

$B_2 = b + 2mh_{so}$ - ikkinchi tutashiruvchi chuqurlik (h_{so}) -dagi tirik kesimning suv sathidagi kengligi.

5. Sakrash balandligini aniqlaymiz: $\sigma = h_c^* - h_c$

XVII bob bo'yicha nazorat savollari

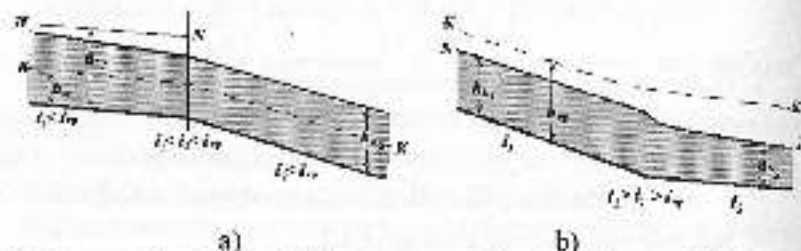
1. Gidravlik sakrash va uning elementlari.
2. Gidravlik sakrashning asosiy tenglamasi.
3. Gidravlik sakrash funksiyasi.
4. Gidravlik sakrashda yo'qolgan energiya (napor).
5. Gidravlik sakrash parametrlarini hisobi.

XVIII BOB. BYEFLARNI TUTASHTIRISH

Suv oqimining yuqori byefdan pastki byefga o'tishiga *bye flarning tutashtirishi* deyiladi. Amaliyotda bye flarni tutashtirishni ikki hilga ajratiladi - tub nishabligi o'zgarganda va inshoot-to'g'onlardan suvni oshib o'tishi.

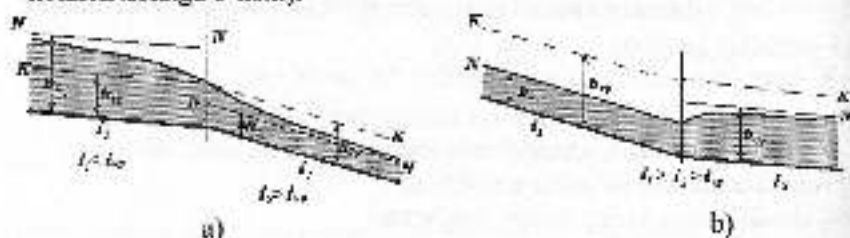
18.1. Tub nishabligi o'zgarganda bye flarni tutashtirish

Ma'lumki, xar hil tub nishabligi uchun o'zundagi suv oqimining normal chuqurligi (h_0) xar hil bo'ladi - nishablik kamaygan sari, normal chuqurlik oshib boradi. Shuning uchun, pastki byefdagi tub nishabligi yuqoridagindan kichikroq bo'lsa, erkin egri suv sathining chizig'i egri ko'tarilma egriligi sudir (mavjud) bo'ladi (18.1 - rasim - a), aksincha bo'lsa - egri pasayma chizig'i (18.1 - rasim - b).



18.1- rasim. Tub nishabligi o'zgarganda bye flarni tutashtirish.

Tub nishabliklari $i < i_0$ - dan $i > i_0$ - gacha o'zgarganda bye flarni tutashtirishi 18.2-a rasmda ko'rsatilgan (oqimning tinch holatdan notinch xolatga o'tishi).



18.2 -rasim. Tub nishabligi o'zgarganda bye flarni tutashtirish.

Tub nishabliklari $i > i_0$ - dan $i < i_0$ - gacha o'zgarganda (suv oqimi notinch holatdan tinch holatga o'tishi) bye flarning tutashtirishi 18.4-b rasmda ko'rsatilgan. Bu xolatda bye flarning tutashishi gidravlik sakrash orqali amalga oshadi. 18.5 - rasmda sakrashlarning holatlari keltirilgan.



18.3- rasim. Sakrash orqali bye flarni tutashtirish.

Gidravlik sakrash vaziyatini aniqlash uchun siqilgan kesimdagi suv chuqurligiga bog'liq bo'lgan ikkinchi tutashtiruvchi chuqurlik qiymatini aniqlab, pastki byefdagi suv chuqurligi (h_1) bilan solishtirib. 18.3 -rasmda gidravlik sakrashning bir nechta vaziyatlari ko'rsatilgan:

- $h_2 > h_1$ - sakrash haydalgan bo'ladi (1- vaziyat);
- $h_2 = h_1$ - sakrash siqilgan kesimda bo'ladi (2- vaziyat);
- $h_2 < h_1$ - sakrash ko'milgan holda sodir bo'ladi (3- vaziyat).

18.2. Inshoot-to'g'onlardan suvni oshib o'tishida bye flarni tutashtirish

Bunda quyidagi holatlarni kuzatish mumkin:

- inshoot ustidan suvni oshib o'tishi (18.4- rasim);
- darvoza (zatvor) ostidan (teshikdan) suvni o'tishi (18.5- rasim);
- inshootga o'rnatilgan darvoza (zatvor) ostidan suvni o'tishi (18.6- rasim).

B' yeflarni tutashtirishida uchraydigan asosiy gidravlik masalalar:

- pastki byefda tutashtirish turini aniqlash;
- inshoot quyi qismidan gidravlik sakrash haydalgan masofani aniqlash;
- oqim zarbini kamaytirish uchun energiya so'ndiruvchi inshootlarni gidravlik hisobi.

Inshoot ustidan suv oqimi oshib o'tishida bye flarning tutashishi quyidagicha sodir bo'lishi mumkin:

1. Oqim tubi bilan (eng katta tezlik qiymatlari tubga yaqin bo'ladi):



2. Oqim usti bilan (eng katta tezlik qiymatlari suv sathiga yaqin bo'ladi):



Aralashgan holatda:



Tub tartibida

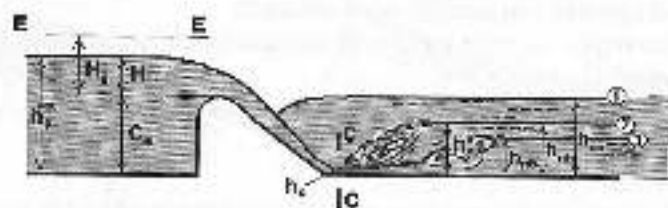
Ustki erkin



Ustki kumilgan

Ustki-tubdagi tartibda

18.4-rasm. Inshoot ustidan suvni oshib o'tishi.



18.5-rasm - Suv o'tkazgich orqali byeflarni tutashtirish.

Suv o'tkazgich orqali byeflarni tutashtirishda inshoot quyi qismidagi kesimning chuqurligini aniqlash zarur. Chunki, keyinchalik ikkinchi tutashgan π oqim chuqurligini aniqlash kerak bo'ladi. Siqilgan kesimdagi chuqurlikni quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin.

$$h_c = h_0 + \frac{\alpha Q^2}{2 \cdot g \cdot \varphi^2 \cdot \omega_c^3},$$

bunda: h_c - siqilgan kesimdagi suv chuqurligi;

ω_c - siqilgan kesim yuzasi;

T_0 - pastki byef tubiga nisbatan yuqori byefdagi oqimning solishtirma energiyasi;

φ - to'g'on turiga bog'liq bo'lgan tezlik koeffitsiyenti.

Siqilgan kesimdagi chuqurlikni aniqlashda tezlik koeffitsiyentini φ qiymatini N.N. Pavlovskiy formulasi bo'yicha aniqlash mumkin.

Gidrotexnik inshootlarning pastki byefida notinch oqimning tinch oqim bilan tutashishining quyidagi shakllarini kuzatish mumkin.

1) sakrash, agar $h_c^* > h_c$ bo'lsa gidravlik sakrash siqilgan kesimga nisbatan oqimning quyi qismida joylashadi - haydalgan sakrash (18.4-rasmda 3- vaziyat);

2) sakrashning chegaraviy joylashishi agar $h_c^* = h_c$ bo'lsa, sakrashning boshlanishi siqilgan kesimda joylashadi (18.4 - rasmda 2- vaziyat);

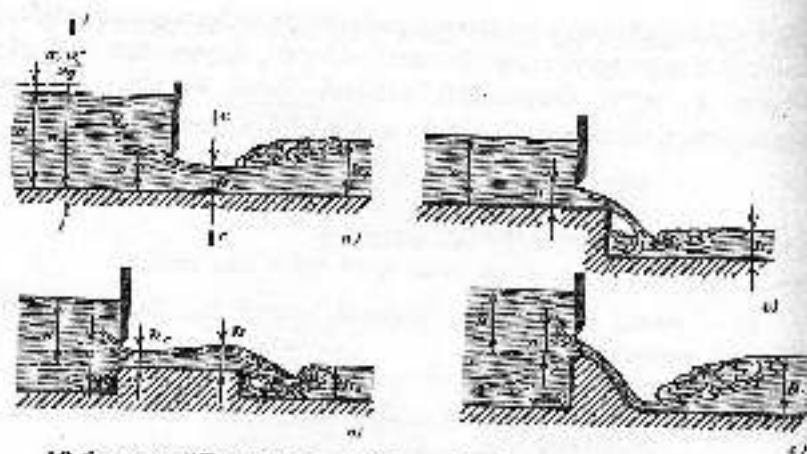
3) agar $h_c^* < h_c$ bo'lsa, ko'milgan sakrash bo'ladi, bunda gidravlik sakrashning boshlanishi siqilgan kesimga nisbatan oqimning yuqori qismida joylashadi (18.4 - rasmdagi 1- vaziyat).

Agar o'zan tubi nisabligi kritik qiymatdan katta, ya'ni $i > i_{cp}$ bo'lsa, u holda mavjud chuqurlik $h_0 < h_{cp}$ bo'ladi va pastki byefdagi oqim bilan tutashish sakrashsiz sodir bo'ladi.

18.2.1 Hidrotexnik inshootlardagi darvozalar (zatvor)dan o'tayotgan suv sarfini hisoblash

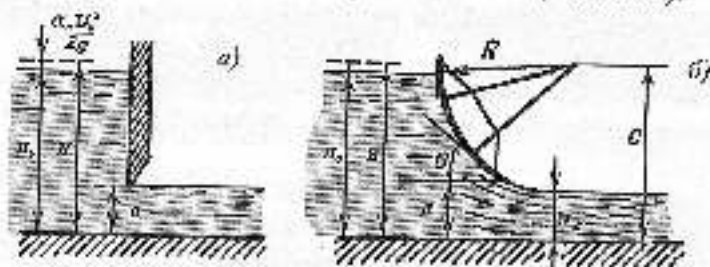
Gidrotexnik inshootlarga o'rnatilgan «zatvor»larni boshqarish orqali, ulardan o'tayotgan suv miqdorini tartibga solish mumkin.

«Zatvor»larni ma'lum darajaga ko'tarish yoki tushirish orqali suv sarfi boshqariladi va aniqlanadi. «Zatvor»lar inshootlarda quyidagicha o'rnatilgan bo'lishi mumkin (18.6-rasm):

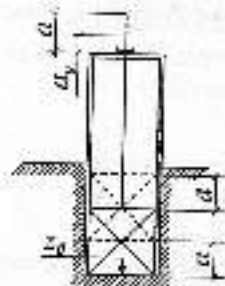


18.6-rasm - «Zatvor»larni inshootlarda o'rnatilish turlari.

«Zatvor»lardan o'tayotgan surfini aruqlashda ikki xil xolat bo'ladi:
a) erkin o'tish (18.6-rasm); b) ko'milgan holda o'tish (18.7-rasm).

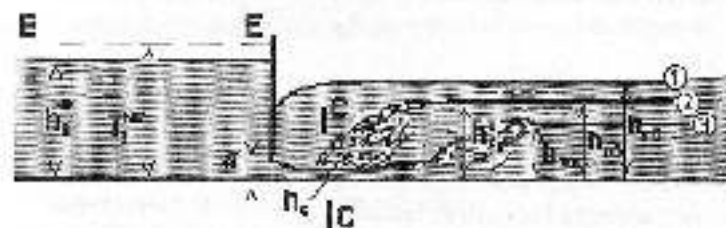


18.7-rasm - «Zatvor»lardan suv oqimini erkin o'tish.



18.8-rasm - «Zatvor»lardan suv oqimini ko'milgan holda o'tish.

18.2.2. Oqinni to'suvchi devor(zatvor) ostidan oqib chiqishi



18.9-rasm. To'suvchi devor orqali byeflarni tutashtirish.

Bunda oqib chiqishning bir nechta turlari bo'lishi mumkin:

1) agar pastki byefdagi oqim sathi darvoza teshigidan chiqayotgan sarf qiymatiga ta'sir qilmasa, oqib chiqish erkin deyiladi (18.8 - rasmdagi 2-chi va 3-chi vaziyatlar);

2) agar pastki byefdagi oqim sathi darvoza teshigidan chiqayotgan sarfga ta'sir qilsa, erkin bo'lmagan yoki ko'milgan oqib chiqish deyiladi (18.8 - rasmdagi 1-chi vaziyat).

Oqib chiqish quyidagi sharoitlarda erkin bo'ladi:

a) agar pastki byefdagi oqim notinch holatda bo'lsa $t > t_q$ va $h_{sa} < h_{sa'}$:

b) agar pastki byefdagi oqim tinch holatda $h_{sa} > h_{sa'}$ bo'lib, to'siq ostidan oqib chiqayotgan notinch oqimni tutashishi gidravlik sakrash orqali sodir bo'lsa $h' > h_{sa}$ (18.8 - rasmda 3- vaziyat), yoki sakrash siqilgan kesimdagi $h' = h_{sa}$ sodir bo'ladi (18.8 - rasmda 2- vaziyat).

Siqilgan kesim chuqurligi (18.9-rasm) «zatvor»ning ochilish balandligi orqali ifodalanadi:

$$h_c = \varepsilon a$$

bunda ε - vertikal siqilish koeffitsiyenti,

$$\varepsilon = f\left(\frac{a}{H}\right)$$

ε - ning qiymatlari 18.1-jadvaldagi N.E.Jukovskiy tenglamasi orqali hisoblanadi yoki A.D.Al'tshul' formulasi orqali:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 + \frac{a}{H}}$$

Darvoza ostidan o'tayotgan suv sarfi quyidagicha aniqlanadi (18.8-rasmdagi 2 va 3 vaziyatlar):

$$g = \varphi \sqrt{2g(H_0 - h_c)}$$

$$Q = \varphi \cdot b \cdot h_n \sqrt{2g(H_0 - h_c)} = \mu \cdot b \cdot a \sqrt{2g(H_0 - \varepsilon \cdot a)}$$

bunda: φ – siqilgan kesimdagi tezlik;

a – darvozaning ko'tarilish balandligi;

b – darvoza eni;

μ – sarf koeffitsiyenti ($\mu = \varphi \cdot \varepsilon$);

ε – vertikal siqilish koeffitsiyenti;

H_0 – to'la napor, $\left(H_0 = H + \frac{a^3 g^2}{2g} \right)$

Agar $\varphi_0 < 0,885 \sqrt{H - h_c}$ bo'lsa (18.9-rasm), $H = H_0$.

φ – tezlik koeffitsiyenti quyidagicha qabul qilinadi:

o' ostonasiz uchun $\varphi = 0,95 : 0,97$ (18.8-rasm);

o' keng ostonasiz tirqishlar uchun $\varphi = 0,85 : 0,95$ (18.6-rasm - a, b, s).

Darvozaning ochilish balandligini aniqlashga doir

18.1-jadval

$\frac{a}{H}$	ε	$\varphi(\varepsilon)$	$\tau_c = \varepsilon \frac{a}{H}$	$\frac{a}{H}$	ε	$\varphi(\varepsilon)$	$\tau_c = \varepsilon \frac{a}{H}$
0,10	0,615	0,26 4	0,062	0,45	0,638	1,060	0,284
0,15	0,618	0,38 8	0,092	0,50	0,645	1,182	0,323
0,20	0,620	0,51 4	0,124	0,55	0,650	1,265	0,356
0,25	0,622	0,63 3	0,156	0,60	0,660	1,364	0,395
0,30	0,625	0,75 0	0,188	0,65	0,675	1,457	0,440
0,35	0,628	0,86 5	0,220	0,70	0,690	1,538	0,482
0,40	0,630	0,96 7	0,252	0,75	0,705	1,611	0,529

Amaliy profilni suv o'tkazgich qirrasiga o'rnatilgan tekis darvozadan oqib chiqayotgan oqim sarfi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi (18.8-rasm, b, c):

$$Q = \varphi \cdot \varepsilon \cdot a \cdot b \sqrt{2g H_0} = \mu \cdot a \cdot b \sqrt{2g H_0}$$

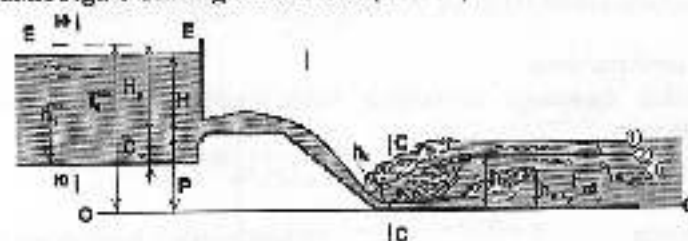
bunda H_0 – yaqinlashish tezligini e'tiborga olgandagi suv o'tkazgich qirrasining ustidagi geometrik napor.

Tezlik koeffitsiyenti φ ning qiymatlari:

1) amaliy profilni suv o'tkazgich qirrasidagi tekis darvozadan oqib chiqishda: $\varphi = 0,95$;

2) sharshara oldidagi ostonasiz darvozadan oqib chiqishda: $\varphi = 0,97$ (18.5-rasm, b, c)

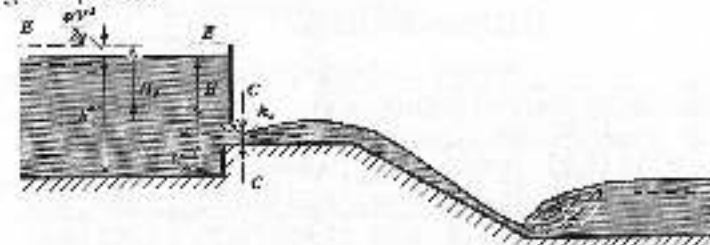
Inshootga o'rnatilgan darvoza (zatvor) ostidan suvni o'tishi



18.10-rasm - Inshootga o'rnatilgan darvoza (zatvor) ostidan suvni o'tishi orqali byeflarning tutashtirish.

Tekis darvozani (zatvorning) ochilish balandligini aniqlashga doir masala

Tekis darvoza to'suvchi to'g'on inshootda o'rnatilgan bo'lsin. To'g'on inshootdan keyin tezoqar-sharshara qurilgan. Darvozani ochilish balandligi aniqlansin.



18.11-rasm - Suvni tekis darvoza ostidan oqib chiqish sxemasi.

Hisoblash tartibi:

1. Ostona oldidagi geometrik va to'la naporlarni aniqlaymiz:

$$H = h_0^{tot} - C_{\Sigma}; \quad H_0 = H + \frac{v^2}{2g};$$

$$q = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{(b + mh_0^{tot})h_0^{tot}}.$$

Bu yerda: b – bir oraliqning kengligi;
 m – qiyalik koeffitsiyenti.

2. Suv o'tkazgichni ko'milishga tekshiramiz:

$$\hat{N}_T = D + \hat{N}_p$$

Agar $C_{\Sigma} > h_0^{tot}$, unda suv o'tkazgich ko'milgan bo'ladi (18.10-rasm).

3. Bir oraliqdan o'tadigan sarfni aniqlaymiz:

$$Q = \frac{q}{N}$$

N – oraliqlar soni.

4. Tekis darvozani ko'tarilish balandligini quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$Q = \mu \cdot \alpha \cdot b \cdot N \sqrt{2g(H_0 - \epsilon \cdot a)}$$

bu yerda: $\epsilon = 0,57 + \frac{0,043}{11 - \frac{a}{H}}$ – vertikal siqilish koeffitsiyenti.

Vertikal siqilish koeffitsiyent (ϵ) quyidagi $\left(\frac{a}{H}\right)$ nisbat bilan bog'langanligi tufayli, uni N.E.Jukovskiy jadvalidan aniqlasa bo'ladi (qullanmada 27-jadval).

(Jukovskiy N.E. jadvali, Shterenlixt D.A. «Gidravlika», 179 bet, 23.1 jadval, M.1991).

N.E.Jukovskiy jadvali $\epsilon = f\left(\frac{a}{H}\right)$

18.2 - jadval

$\frac{a}{H_0}$	ϵ	$\frac{a}{H_0}$	ϵ	$\frac{a}{H_0}$	ϵ	$\frac{a}{H_0}$	ϵ	$\frac{a}{H_0}$	ϵ
0,00	0,611	0,25	0,622	0,45	0,638	0,65	0,675	0,85	0,745
0,10	0,615	0,30	0,625	0,50	0,645	0,70	0,690	0,90	0,780
0,15	0,618	0,35	0,628	0,55	0,650	0,75	0,705	0,95	0,885
0,20	0,620	0,40	0,630	0,60	0,660	0,80	0,720	1,0	1,0

$\varphi = 0,85 \dots 0,97$ – tezlik koeffitsiyenti;

a – darvozani ko'tarilish balandligi;

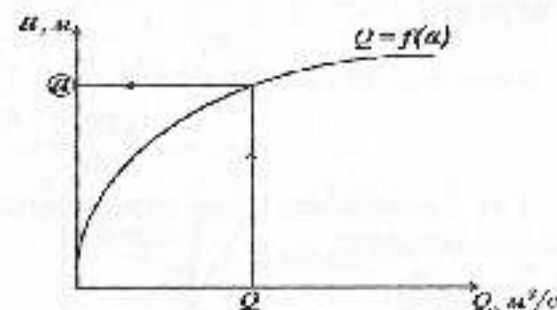
$\mu = \varphi \varphi$ – sarf koeffitsiyenti.

Darvozaning ochilish balandligi tanlash usulida aniqlanadi. Darvozani ko'tarilish balandligi « a »-ga bir necha qiymat berib, shu qiymatlar uchun sarf Q aniqlanadi va $Q = f(a)$ grafigi quriladi. SHu grafikdan berilgan $Q = Q_{\Sigma} - Q_{\Sigma-1}$ sarf uchun darvozani ko'tarilish balandligi qiymatini aniqlaymiz. Hisob natijalarini jadvalda keltiramiz:

18.3 - jadval

$\frac{a}{m}$	$\frac{a}{H_0}$	ϵ	ω	μ	$\sqrt{2g(H_0 - \epsilon a)}$	$\frac{Q}{m^3/c}$

Jadvaldagi qiymatlarga asosan $Q = f(a)$ grafigini quramiz va berilgan sarf uchun $Q = Q_{\Sigma} - Q_{\Sigma-1}$ darvozani ko'tarilish balandligini aniqlaymiz.



18.12- rasm - $Q = f(a)$ funksiyasi grafigi.

XVIII bob bo'yicha nazorat savollari:

1. byeflarni tutashtirish.
2. Tub nishablari o'zgarganda byeflarni tutashtirish.
3. Inshoot-to'g'onlardan suvni oshib o'tishida byeflarni tutashtirish.
4. Gidrotexnik inshootlardagi darvozalar (zatvor)dan o'tayotgan suv sarfini hisoblash.
5. Inshootga o'rnatilgan darvoza (zatvor) ostidan suvni o'tishi.

XIX BOB. SUV ZARBINI KAMAYTIRUVCHI INSHOOTLAR. OQIM ENERGIYASINI SO'NDIRGICILAR

19.1 Energiyani so'ndiruvchi xovuz

Agar sakrash xaydalgan bo'lsa, pastki byefga oqim zarbini kamaytirish uchun energiya so'ndiruvchi devor (to'siq) yoki hovuz qo'llaniladi.

Buning uchun suv o'tkazgich oxirining tubi «d» chuqurlikka pasaytiriladi. Unda siqilgan chuqurlik h_c kamayib borib, u bilan bog'langan h_c^* ko'payib boradi. Natijada sakrash siqilgan kesimga suriladi va pastki byefga ta'sir kamayadi.

Hovuzning chuqurligi (d)-ni quyidagicha aniqlanadi. Sakrash ayni siqilgan kesimda bo'lishi sharti bajarilishi uchun quyidagi tenglamani yozamiz:

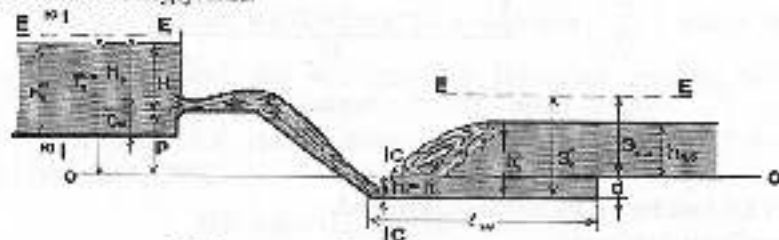
$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{\text{as}} + d \quad (19.1)$$

bu yerda

$$\mathcal{E}_c = h_c^* + \frac{\alpha (g_c^*)^2}{2g}; \text{ yoki } \mathcal{E}_c = h_c^* + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2};$$

$$\mathcal{E}_{\text{as}} = h_{\text{as}} + \frac{\alpha (g_{\text{as}}^*)^2}{2g};$$

$\mathcal{E}_c$ va $\mathcal{E}_{\text{as}}$ - sakrashdan keyingi va pastki byefdagi kesimlarning solishtirma energiyalari.



19.1 - rasm - Energiya so'ndiruvchi hovuz sxemasi.

Hovuzning uzunligini quyidagicha aniqlash mumkin:
M.R.Chertousov formulasi:

$$l_{\text{mrc}} = (0.7 \dots 0.8) l_{\text{mrcp}};$$

$l_{\text{mrc}} = 2.5(1.9h_c^* - h_c)$ - gidravlik sakrashning uzunligi.

N.N.Pavlovskiy formulasi:

$$l_{\text{mrc}} = (0.7 \dots 0.8) l_{\text{mrcp}}; \quad l_{\text{mrcp}} = 2.5(1.9h_c^* - h_c).$$

Hisoblash tartibi:

1. Pastki byefdagi kesimning solishtirma energiyasi aniqlanadi:

$$\mathcal{E}_{\text{as}} = h_{\text{as}} + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_{\text{as}}^2};$$

bu yerda: h_{as} - ko'milish chuqurligi;

$$\omega_{\text{as}} = h_{\text{as}}(b_{\text{as}} + mh_{\text{as}});$$

b_{as} - tezoqar sharshara quyi qismining kengligi.

m - qiyalik koeffitsiyenti.

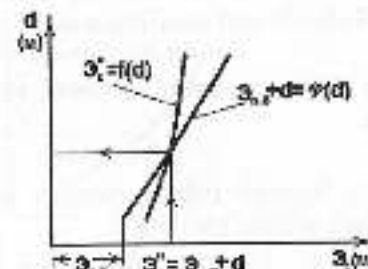
2. Hisoblash tanlash usulida bajariladi. Hovuz chuqurligiga bir necha qiymat berib, $h_c = f(T_c^*)$ grafikdan siqilgan kesimdagi chuqurlikni aniqlaymiz.

3. Hisoblash natijalarini jadvalda keltiramiz:

19.1 - jadval

$d, \text{ m}$	$(T_c^* + d)$	$h_c, \text{ m}$	$h_c^*, \text{ m}$	$\omega_c^*, \text{ m}^2$	$\frac{\alpha Q^2}{2g\omega_c^2}, \text{ m}$	$\mathcal{E}_c, \text{ m}$	$\mathcal{E}_{\text{as}} + d, \text{ m}$
1	2	3	4	5	6	7	8

SHu jadvaldagi qiymatlarga qarab, $\mathcal{E}_c = f(d)$ va $\mathcal{E}_{\text{as}} + d = \varphi(d)$ grafiklarni quramiz (19.2 - rasm).



19.2 - rasm - Energiya so'ndiruvchi hovuz chuqurligini aniqlash grafigi

Sakrash siqilgan kesimda bo'lishini ta'minlovchi hovuzning chuqurligi (d)-ni shu grafikdan olamiz.

4. Hovuzning uzunligini N.N.Pavlovskiy formulasi bo'yicha aniqlaymiz:

$$l_{\text{mrc}} = (0.7 \dots 0.8) l_{\text{mrcp}}; \quad l_{\text{mrcp}} = 2.5(1.9h_c^* - h_c)$$

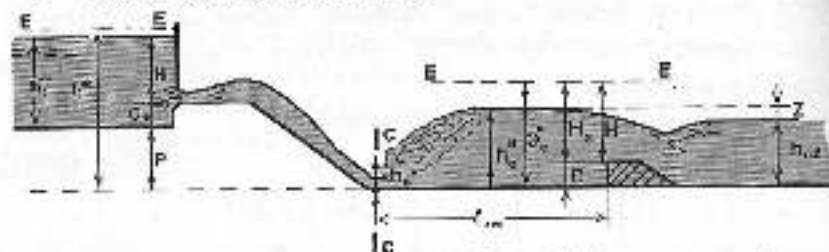
19.2. Energiya so'ndiruvchi devor (to'siq)

Suv zarbini kamaytirish uchun amaliyotda energiya so'ndiruvchi devor ham keng qo'llaniladi.

Gidravlik sakrashni siqilgan kesimda hosil qilish uchun ushbu devorning balandligini (C) va devor bilan tashkil qilingan hovuz uzunligi (l_{hov}) ni aniqlash kerak.

Hisoblash tartibi:

1. Sxema masshtabda chiziladi.



19.3-rasm - Energiya so'ndiruvchi devor sxemasi.

Energiya so'ndiruvchi devor sakrashni xuydalishiga yo'l bermaydi.

Energiya so'ndiruvchi devor amaliy profildagi suv o'tkazgichga o'xshab ishlaydi. Bu holda sarf koeffitsiyenti:

$$m \approx 0,40 \dots 0,44 \approx 0,42$$

Sakrash siqilgan kesimda sodir bo'lishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$H_s = H_z + c$$

Shu shartni bajarish uchun energiya so'ndiruvchi devorning balandligi (C) tanlash usulida aniqlanadi.

Devor ustidagi hisobiy napor (H_s) ko'milmagan amaliy profildagi suv o'tkazgichlarning hisoblash tenglamasidan aniqlanadi.

H_s - suv o'tkazgichdagi hisobiy napor:

$$H_s = \left(\frac{Q}{mb_s \sqrt{2g}} \right)^{2,15}$$

Trapetsiya shaklidagi kanalda devor ustidagi hisoblash kengligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

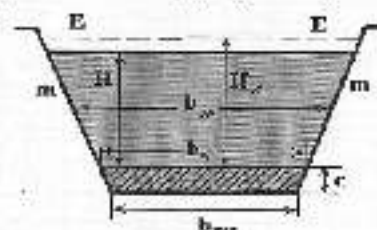
$$b_s = b_{\text{hov}} + 2 \cdot m \cdot c + 0,8 \cdot m \cdot H$$

bu yerda m - suv urilma qismining qiyalik koeffitsiyenti;

H - devor oldidagi geometrik napor:

$$H = h_c' - c$$

b_{hov} - tezoqar-sharshara quyi qismining kengligi.



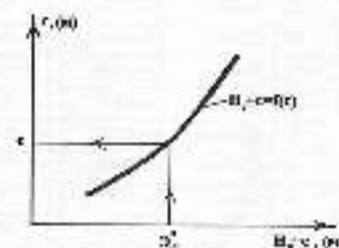
19.4-rasm - Energiya so'ndiruvchi devor oldidagi oqim ko'ndalang kesimi.

Masala tanlash usulda yechiladi. Devorning balandligi (C)-ga bir necha qiymatlar beramiz va $H_s + c = f(c)$ grafagini quramiz va α qiymatiga qarab, grafikdan « C » qiymatini olamiz.

Hisoblash natijalarini jadvalda keltiramiz:

19.2 - jadval

s	N	b_{hov}	H_h	$H_s + C$



19.5-rasm - Energiya so'ndiruvchi devor balandligini aniqlash grafigi

Energiya so'ndiruvchi devor hosil qilgan hovuzning uzunligi:

$$l_{\text{hov}} = (0,7 \dots 0,8) l_{\text{sakr}}; \quad l_{\text{hov}} = 2,5(1,9h_c' - h_c')$$

XIX bob bo'yicha nazorat savollari:

1. Energiyani so'ndiruvchi xovuz.
2. Energiya so'ndiruvchi devor (to'siq).
3. Energiya so'ndiruvchi hovuz chuqurligini aniqlash grafigi.
4. Energiya so'ndiruvchi devor (to'siq).

НОВАЛАР

Сўнинг кинематик зорпшқоқлик керттисиги $\sigma = \sigma_0^2 / \text{cm}^2$, нурсаге буғ'лиқ шолда

Ном. 1 - жадвал

σ	σ_0	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
1	0,017321	11	0,012740	22	0,009892
2	0,016740	12	0,012196	24	0,009186
3	0,016193	13	0,011667	26	0,008774
4	0,015676	14	0,011156	28	0,008394
5	0,015188	15	0,010661	30	0,008032
6	0,014725	16	0,010177	35	0,007251
7	0,014289	17	0,009704	40	0,006587
8	0,013872	18	0,009251	45	0,006029
9	0,013479	19	0,008816	50	0,005548
10	0,013101	20	0,008405	55	0,005147
				60	0,004779

Парабола шаклидаги кималар йисобигаги функцияларга $R_n = R_n \frac{n}{\sqrt{t}}$ кималари

Ном. 2 - жадвал

R_n	$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{t}}$	$R_n \frac{n}{\sqrt{t}}$	R_n	$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{t}}$	$R_n \frac{n}{\sqrt{t}}$	R_n	$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{t}}$	$R_n \frac{n}{\sqrt{t}}$
0,025	0,00047	0,07561	0,25	0,02368	0,3789	0,60	0,2318	0,6894
30	0,000377	0,08390	26	0,02632	0,3894	62	0,2751	0,7156
35	0,000317	0,09569	27	0,02915	0,3999	64	0,2997	0,7317
40	0,000268	0,1053	28	0,03216	0,4102	66	0,3257	0,7476
45	0,000232	0,1141	29	0,03536	0,4204	68	0,3530	0,7634
0,050	0,000307	0,1228	0,30	0,03875	0,4305	0,70	0,3817	0,7791
55	0,000397	0,1313	31	0,04233	0,4405	72	0,4119	0,7946
60	0,000502	0,1395	32	0,04612	0,4504	74	0,4435	0,8100
65	0,000624	0,1476	33	0,05012	0,4602	76	0,4767	0,8252
70	0,000762	0,1554	34	0,05432	0,4699	78	0,5113	0,8404
0,075	0,000918	0,1631	0,35	0,05875	0,4795	0,80	0,5475	0,8554
80	0,00109	0,1707	36	0,06339	0,4891	82	0,5852	0,8703
85	0,00129	0,1781	37	0,06826	0,4986	84	0,6245	0,8851
90	0,00150	0,1854	38	0,07335	0,5080	86	0,6655	0,8998
95	0,00174	0,1925	39	0,07868	0,5173	88	0,7081	0,9144
0,100	0,00200	0,1995	0,40	0,08425	0,5266	0,90	0,7724	0,9289
11	0,00258	0,2133	41	0,09006	0,5357	92	0,7984	0,9433
12	0,00326	0,2257	42	0,09611	0,5449	94	0,8461	0,9576
13	0,00405	0,2398	43	0,1024	0,5539	96	0,8956	0,9718
14	0,00495	0,2525	44	0,1083	0,5629	98	0,9469	0,9860
0,15	0,00596	0,2650	0,45	0,1158	0,5718	0,00	0,0000	0,0000
16	0,00710	0,2773	46	0,1229	0,5807	02	0,055	0,04

3-gradus' shaklida

R_n	$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{t}}$	$R_n \frac{n}{\sqrt{t}}$	R_n	$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{t}}$	$R_n \frac{n}{\sqrt{t}}$	R_n	$0,159 \frac{Qn}{\sqrt{t}}$	$R_n \frac{n}{\sqrt{t}}$
17	0,00836	0,2894	47	0,1302	0,5893	04	0,112	0,028
18	0,00876	0,3011	48	0,1378	0,5982	06	0,170	0,042
19	0,01129	0,3127	49	0,1457	0,6069	08	0,231	0,055
0,20	0,01297	0,3241	0,50	0,1539	0,6156	0,10	0,294	0,069
21	0,01479	0,3354	52	0,1711	0,6227	12	0,358	0,083
22	0,01677	0,3465	54	0,1894	0,6497	14	0,421	0,096
23	0,01891	0,3575	56	0,2090	0,6664	16	0,493	0,110
24	0,02121	0,3683	58	0,2296	0,6830	18	0,563	0,123

Парабола шаклидаги кималарнинг йисобигаги нур жадвал

Ном. 3 - жадвал $\alpha = 1,0$

β	χ	$\frac{\epsilon}{K}$	$\frac{H}{H_0}$	β	χ	$\frac{\epsilon}{K}$	$\frac{H}{H_0}$
2,00	8,000	2,591	5,187	8,00	17,00	1,435	11,40
20	8,036	2,475	5,444	30	17,38	1,411	11,57
40	8,131	2,373	5,664	40	17,75	1,398	11,74
60	8,277	2,283	5,940	50	18,13	1,385	11,92
80	8,457	2,207	6,181	60	18,51	1,373	12,08
1,00	8,667	2,139	6,417	9,00	18,89	1,361	12,25
20	8,900	2,078	6,650	20	19,27	1,350	12,42
40	9,153	2,023	6,878	40	19,65	1,339	12,58
60	9,422	1,973	7,103	60	20,03	1,328	12,75
80	9,703	1,928	7,323	80	20,42	1,317	12,91
1,00	10,000	1,886	7,541	10,00	20,80	1,307	13,07
20	10,30	1,841	7,759	20	21,18	1,297	13,23
40	10,62	1,802	7,971	40	21,57	1,288	13,39
60	10,94	1,778	8,181	60	21,95	1,278	13,55
80	11,27	1,747	8,388	80	22,34	1,269	13,71
1,00	11,60	1,718	8,592	11,00	22,73	1,260	13,86
20	11,60	1,7	8,791	20	23,11	1,251	14,02
40	12,24	1,665	8,993	40	23,50	1,243	14,17
60	12,63	1,641	9,190	60	23,89	1,233	14,32
8,00	12,98	1,618	9,388	12,00	24,28	1,225	14,48
20	13,60	1,575	9,768	20	24,65	1,212	14,78
40	14,05	1,556	9,956	40	25,05	1,204	14,93
60	14,41	1,537	10,14	60	25,43	1,196	15,07
80	14,78	1,519	10,33	80	25,82	1,189	15,22
1,00	15,14	1,501	10,51	1,00	26,22	1,182	15,37
20	15,51	1,485	10,69	20	27,01	1,175	15,52
40	15,88	1,469	10,87	40	27,40	1,169	15,65
60	16,25	1,454	11,05	60	27,79	1,162	15,81
80	16,63	1,439	11,23	80	28,18	1,156	15,95

3. جدول ابعادي
 $\alpha = 2.0$

β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{u^{2-\alpha}}$	β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{u^{2-\alpha}}$
2.056	6.560	2.161	4.442	2.284	8.00	12.98	1.191	9.546	19.60
20	6.573	2.090	4.597	2.529	20	13.26	1.182	9.695	19.86
40	6.629	2.003	4.807	2.884	40	13.54	1.171	9.833	20.65
60	6.720	1.928	5.012	3.258	60	13.82	1.160	9.974	21.44
80	6.838	1.861	5.212	3.649	80	14.10	1.149	10.11	22.25
3.00	6.979	1.803	5.409	4.057	9.00	14.38	1.139	10.25	23.07
20	7.138	1.751	5.602	4.482	20	14.66	1.130	10.39	23.90
40	7.312	1.703	5.792	4.923	40	14.94	1.120	10.58	24.75
60	7.499	1.661	5.979	5.381	60	15.22	1.111	10.67	25.60
80	7.697	1.622	6.163	5.854	80	15.51	1.102	10.80	26.47
4.00	7.905	1.586	6.344	6.344	10.00	15.79	1.094	10.94	27.34
20	8.120	1.553	6.522	6.848	20	16.08	1.085	11.07	28.23
40	8.343	1.522	6.698	7.368	40	16.36	1.077	11.20	29.13
60	8.572	1.494	6.872	7.903	60	16.65	1.069	11.33	30.04
80	8.806	1.467	7.044	8.452	80	16.93	1.062	11.47	30.96
5.00	9.046	1.443	7.213	9.016	9.00	17.22	1.054	11.60	31.89
20	9.290	1.419	7.380	9.594	20	17.51	1.047	11.72	32.83
40	9.537	1.397	7.546	10.19	40	17.80	1.040	11.85	33.78
60	9.788	1.377	7.709	10.79	60	18.08	1.033	11.98	34.74
80	10.04	1.357	7.871	11.41	80	18.37	1.026	12.11	35.72
6.00	10.30	1.338	8.031	12.05	10.00	18.66	1.019	12.23	36.70
20	10.56	1.321	8.189	12.69	20	18.95	1.013	12.36	37.69
40	10.82	1.304	8.346	13.35	40	19.24	1.007	12.48	38.70
60	11.09	1.288	8.501	14.03	60	19.53	1.001	12.61	39.71
80	11.35	1.273	8.654	14.71	80	19.82	0.995	12.73	40.74
7.00	11.62	1.258	8.806	15.41	9.00	20.11	0.999	12.85	41.77
20	11.89	1.244	8.957	16.12	20	20.40	0.983	12.97	42.81
40	12.16	1.231	9.106	16.85	40	20.69	0.977	13.10	43.87
60	12.44	1.218	9.254	17.58	60	20.98	0.972	13.22	44.93
80	12.71	1.208	9.400	18.33	80	21.28	0.966	13.34	46.01

3. جدول ابعادي $\alpha = 3.0$

β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{u^{2-\alpha}}$	β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{u^{2-\alpha}}$
2.112	6.381	2.003	4.231	2.174	8.00	11.82	1.112	8.894	8.894
20	6.385	1.963	4.319	2.265	20	12.06	1.101	9.027	9.140
40	6.422	1.881	4.514	2.472	40	12.30	1.090	9.160	9.386
60	6.489	1.809	4.704	2.682	60	12.54	1.080	9.291	9.633
80	6.581	1.747	4.891	2.893	80	12.79	1.071	9.421	9.880
3.00	6.694	1.691	5.073	3.107	9.00	13.03	1.061	9.550	10.13
20	6.823	1.641	5.252	3.322	20	13.28	1.052	9.678	10.38
40	6.965	1.596	5.428	3.538	40	13.52	1.045	9.805	10.63
60	7.120	1.556	5.600	3.757	60	13.77	1.034	9.931	10.87
80	7.285	1.518	5.770	3.977	80	14.02	1.026	10.06	11.13
4.00	7.458	1.484	5.938	4.196	10.00	14.27	1.018	10.18	11.38
20	7.639	1.453	6.102	4.422	20	14.52	1.010	10.30	11.64
40	7.827	1.424	6.265	4.646	40	14.77	1.003	10.43	11.89
60	8.020	1.397	6.425	4.872	60	15.02	0.995	10.55	12.14
80	8.219	1.372	6.584	5.100	80	15.27	0.988	10.67	12.40
5.00	8.422	1.348	6.740	5.328	9.00	15.52	0.981	10.79	12.65
20	8.630	1.326	6.894	5.559	20	15.77	0.974	10.91	12.91
40	8.841	1.305	7.047	5.790	40	16.02	0.967	11.03	13.17
60	9.056	1.285	7.198	6.022	60	16.28	0.961	11.15	13.42
80	9.274	1.267	7.347	6.256	80	16.53	0.955	11.26	13.68
6.00	9.495	1.249	7.495	6.491	10.00	16.78	0.948	11.38	13.94
20	9.718	1.232	7.641	6.727	20	17.04	0.942	11.50	14.20
40	9.944	1.216	7.785	6.964	40	17.29	0.937	11.61	14.46
60	10.17	1.201	7.929	7.202	60	17.55	0.931	11.73	14.72
80	10.40	1.187	8.070	7.441	80	17.80	0.925	11.84	14.98
7.00	10.63	1.173	8.211	7.680	10.00	18.06	0.920	11.96	15.24
20	10.87	1.160	8.350	7.921	20	18.31	0.914	12.07	15.50
40	11.10	1.147	8.488	8.163	40	18.57	0.909	12.16	15.76
60	11.34	1.135	8.624	8.406	60	18.83	0.904	12.29	16.03
80	11.58	1.123	8.760	8.650	80	19.08	0.899	12.40	16.29

2-jachal dno $\alpha = 1.0$

β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{S}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^{1/2}} \frac{1}{R_0}$	β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{S}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^{1/2}} \frac{1}{R_0}$
2.147	6.390	1.924	4.130	2.112	8.00	11.32	1.071	8.566	6.799
20	6.392	1.901	4.182	2.159	20	11.54	1.060	8.693	6.957
40	6.419	1.821	4.370	2.322	40	11.77	1.050	8.820	7.115
60	6.475	1.751	4.554	2.485	60	11.99	1.040	8.945	7.273
80	6.555	1.690	4.733	2.647	80	12.22	1.031	9.070	7.431
3.00	6.654	1.636	4.908	2.809	9.00	12.44	1.021	9.193	7.589
20	6.768	1.588	5.080	2.971	20	12.67	1.013	9.316	7.747
40	6.896	1.544	5.249	3.132	40	12.90	1.004	9.437	7.904
60	7.034	1.504	5.414	3.293	60	13.12	0.996	9.558	8.061
80	7.182	1.468	5.577	3.454	80	13.35	0.938	9.678	8.219
4.00	7.339	1.434	5.737	3.614	10.00	13.58	0.980	9.797	8.377
20	7.502	1.404	5.895	3.775	20	13.81	0.972	9.916	8.534
40	7.672	1.375	6.051	3.935	40	14.05	0.965	10.03	8.691
60	7.848	1.349	6.204	4.095	60	14.28	0.968	10.15	8.846
80	8.028	1.324	6.356	4.255	80	14.51	0.951	10.27	9.005
5.00	8.213	1.301	6.506	4.415	11.00	14.74	0.944	10.38	9.162
20	8.402	1.279	6.653	4.574	20	14.98	0.937	10.50	9.319
40	8.595	1.259	6.799	4.734	40	15.21	0.931	10.61	9.476
60	8.791	1.240	6.944	4.893	60	15.45	0.924	10.72	9.637
80	8.980	1.222	7.086	5.053	80	15.68	0.918	10.84	9.790
6.00	9.192	1.205	7.227	5.312	12.00	15.92	0.912	10.95	9.946
20	9.396	1.188	7.367	5.371	20	16.15	0.906	11.06	10.10
40	9.603	1.173	7.505	5.530	40	16.39	0.901	11.17	10.26
60	9.812	1.158	7.642	5.689	60	16.63	0.895	11.28	10.42
80	10.02	1.144	7.778	5.848	80	16.86	0.890	11.39	10.57
7.00	10.24	1.130	7.912	6.007	13.00	17.10	0.884	11.50	10.73
20	10.45	1.117	8.045	6.065	20	17.34	0.879	11.61	10.88
40	10.67	1.105	8.177	6.324	40	17.58	0.874	11.71	11.04
60	10.88	1.093	8.308	6.482	60	17.81	0.869	11.82	11.20
80	11.10	1.082	8.437	6.641	80	18.05	0.864	11.93	11.35

3-jachal dno $\alpha = 5.0$

β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{S}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^{1/2}} \frac{1}{R_0}$	β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{S}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^{1/2}} \frac{1}{R_0}$
2.165	6.446	1.881	4.072	2.078	8.00	11.08	1.046	8.371	5.919
20	6.446	1.865	4.102	2.100	20	11.29	1.036	8.494	6.044
40	6.469	1.786	4.286	2.243	40	11.51	1.026	8.617	6.168
60	6.520	1.718	4.466	2.384	60	11.72	1.016	8.739	6.292
80	6.593	1.657	4.641	2.524	80	11.93	1.007	8.860	6.416
3.00	6.685	1.604	4.812	2.663	9.00	12.14	0.998	8.980	6.540
20	6.791	1.556	4.980	2.800	20	12.36	0.989	9.099	6.663
40	6.910	1.513	5.144	2.937	40	12.58	0.981	9.218	6.786
60	7.040	1.474	5.305	3.073	60	12.79	0.972	9.335	6.909
80	7.178	1.438	5.464	3.208	80	13.01	0.964	9.452	7.031
4.00	7.325	1.405	5.620	3.342	10.00	13.23	0.967	9.568	7.164
20	7.478	1.374	5.774	3.475	20	13.45	0.949	9.683	7.275
40	7.635	1.347	5.925	3.608	40	13.67	0.942	9.797	7.397
60	7.803	1.321	6.075	3.741	60	13.89	0.935	9.911	7.519
80	7.973	1.296	6.222	3.818	80	14.11	0.929	10.02	7.640
5.00	8.147	1.274	6.368	4.003	11.00	14.33	0.921	10.14	7.761
20	8.325	1.253	6.511	4.134	20	14.55	0.915	10.25	7.882
40	8.507	1.232	6.653	4.264	40	14.77	0.909	10.36	8.002
60	8.691	1.213	6.794	4.394	60	15.00	0.902	10.47	8.122
80	8.679	1.195	6.982	4.523	80	15.22	0.896	10.58	8.242
6.00	9.069	1.175	7.070	4.652	12.00	15.45	0.890	10.69	8.362
20	9.262	1.162	7.205	4.780	20	15.67	0.885	10.79	8.482
40	9.458	1.147	7.340	4.908	40	15.90	0.879	10.90	8.601
60	9.655	1.132	7.473	5.036	60	16.12	0.874	11.01	8.720
80	9.854	1.118	7.605	5.153	80	16.35	0.868	11.11	8.839
7.00	10.06	1.105	7.735	5.290	13.00	16.57	0.363	11.22	8.958
20	10.26	1.092	7.864	5.416	20	16.80	0.858	11.33	9.077
40	10.46	1.080	7.993	5.543	40	17.03	0.853	11.43	9.193
60	10.67	1.068	8.120	5.668	60	17.25	0.848	11.53	9.313
80	10.88	1.057	8.246	5.794	80	17.48	0.843	11.64	9.431

3-jachni davomi $\alpha = -6.0$

β	z	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{a^{n-1} R_0}$	β	z	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{a^{n-1} R_0}$
2.176	6.513	1.851	4.027	2.048	8.00	10.97	1.030	8.242	5.438
20	6.513	1.841	4.050	2.064	20	11.17	1.020	8.364	5.545
40	6.533	1.763	4.232	2.194	40	11.37	1.010	8.484	5.652
60	6.581	1.696	4.408	2.323	60	11.55	1.000	8.604	5.759
80	6.651	1.636	4.581	2.450	80	11.78	0.991	8.722	5.865
3.00	6.738	1.583	4.749	2.575	9.00	11.99	0.982	8.840	5.971
20	6.839	1.536	4.914	2.699	20	12.19	0.974	8.957	6.077
40	6.953	1.493	5.076	2.822	40	12.40	0.965	9.073	6.182
60	7.077	1.454	5.230	2.944	60	12.61	0.957	9.188	6.285
80	7.211	1.419	5.391	3.065	80	12.82	0.949	9.303	6.392
4.00	7.351	1.386	5.544	3.184	10.00	13.03	0.942	9.416	6.496
20	7.498	1.355	5.695	3.303	20	13.24	0.934	9.529	6.600
40	7.652	1.328	5.844	3.421	40	13.45	0.927	9.641	6.703
60	7.810	1.302	5.991	3.538	60	13.67	0.920	9.752	6.806
80	7.973	1.278	6.135	3.656	80	13.88	0.913	9.863	6.910
5.00	8.140	1.256	6.278	3.770	11.00	14.09	0.907	9.973	7.012
20	8.311	1.234	6.419	3.885	20	14.31	0.900	10.08	7.115
40	8.486	1.214	6.558	4.000	40	14.52	0.894	10.19	7.217
60	8.664	1.196	6.696	4.113	60	14.74	0.888	10.30	7.319
80	8.844	1.178	6.832	4.227	80	14.95	0.882	10.41	7.420
6.00	9.027	1.151	6.967	4.339	12.00	15.17	0.876	10.51	7.522
20	9.212	1.145	7.100	4.451	20	15.39	0.870	10.62	7.623
40	9.400	1.130	7.232	4.563	40	15.60	0.865	10.72	7.723
60	9.590	1.115	7.362	4.674	60	15.82	0.859	10.83	7.824
80	9.781	1.102	7.491	4.784	80	16.04	0.854	10.93	7.924
7.00	9.975	1.088	7.619	4.894	13.00	16.27	0.849	11.04	8.024
20	10.17	1.076	7.746	5.004	20	16.48	0.844	11.14	8.124
40	10.37	1.064	7.842	5.113	40	16.69	0.839	11.24	8.224
60	10.56	1.052	7.996	5.222	60	16.91	0.834	11.35	8.323
80	10.76	1.041	8.120	5.330	80	17.13	0.829	11.45	8.422

3-jachni davomi $\alpha = 7.0$

β	z	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{a^{n-1}}{R_0}$	β	z	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{a^{n-1}}{R_0}$
2.181	6.580	1.833	3.998	2.028	8.00	10.91	1.019	8.152	5.136
20	6.580	1.824	4.013	2.039	20	11.10	1.009	8.272	5.233
40	6.599	1.747	4.193	2.161	40	11.30	0.999	8.391	5.329
60	6.645	1.680	4.368	2.282	60	11.50	0.989	8.509	5.425
80	6.712	1.621	4.539	2.400	80	11.70	0.980	8.626	5.521
3.00	6.797	1.569	4.706	2.517	9.00	11.90	0.971	8.742	5.616
20	6.896	1.522	4.829	2.633	20	12.10	0.963	8.857	5.711
40	7.006	1.479	5.029	2.747	40	12.30	0.954	8.971	5.806
60	7.127	1.440	5.186	2.860	60	12.51	0.946	9.085	5.899
80	7.257	1.405	5.340	2.971	80	12.71	0.939	9.197	5.993
4.00	7.393	1.373	5.491	3.082	10.00	12.92	0.931	9.309	6.087
20	7.537	1.342	5.640	3.191	20	13.12	0.924	9.421	6.180
40	7.686	1.315	5.787	3.300	40	13.33	0.916	9.531	6.273
60	7.840	1.290	5.932	3.408	60	13.53	0.910	9.641	6.365
80	7.999	1.266	6.075	3.514	80	13.74	0.903	9.750	6.457
5.00	8.161	1.243	6.216	3.621	11.00	13.95	0.896	9.858	6.549
20	8.328	1.222	6.355	3.726	20	14.16	0.890	9.966	6.640
40	8.497	1.202	6.492	3.830	40	14.37	0.884	10.07	6.731
60	8.670	1.184	6.628	3.939	60	14.58	0.878	10.18	6.822
80	8.845	1.166	6.762	4.058	80	14.79	0.872	10.28	6.913
6.00	9.023	1.149	6.895	4.140	12.00	15.00	0.866	10.39	7.005
20	9.204	1.133	7.026	4.242	20	15.21	0.860	10.49	7.093
40	9.386	1.118	7.156	4.343	40	15.42	0.855	10.60	7.183
60	9.571	1.104	7.285	4.444	60	15.63	0.849	10.70	7.272
80	9.757	1.090	7.412	4.545	80	15.85	0.844	10.80	7.361
7.00	9.945	1.077	7.538	4.644	13.00	16.06	0.839	10.91	7.450
20	10.13	1.064	7.653	4.744	20	16.27	0.834	11.01	7.539
40	10.33	1.052	7.787	4.842	40	16.48	0.829	11.11	7.627
60	10.52	1.041	7.910	4.941	60	16.70	0.824	11.21	7.715
80	10.71	1.030	8.032	5.038	80	16.91	0.820	11.31	7.803

3-jadval davomi $\alpha = 8.0$

β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^2 R_0}$	β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^2 R_0}$
2.183	6.643	1.819	3.971	2.010	8.00	10.89	1.011	8.086	4.929
20	6.643	1.812	3.987	2.021	20	11.08	1.001	8.205	5.019
40	6.661	1.736	4.165	2.138	40	11.27	0.991	8.322	5.108
60	6.706	1.669	4.339	2.252	60	11.47	0.981	8.439	5.197
80	6.772	1.610	4.508	2.365	80	11.66	0.972	8.554	5.285
3.00	6.856	1.558	4.674	2.476	9.00	11.86	0.963	8.669	5.374
20	6.953	1.511	4.836	2.586	20	12.06	0.955	8.783	5.461
40	7.061	1.469	5.094	2.694	40	12.25	0.946	8.896	5.544
60	7.180	1.430	5.150	2.800	60	12.45	0.938	9.008	5.635
80	7.307	1.395	5.302	2.906	80	12.65	0.931	9.120	5.722
4.00	7.442	1.363	5.452	3.010	10.00	12.85	0.923	9.231	5.803
20	7.582	1.333	5.600	3.113	20	13.05	0.916	9.341	5.894
40	7.729	1.306	5.746	3.215	40	13.26	0.909	9.450	5.980
60	7.880	1.280	5.889	3.317	60	13.46	0.902	9.558	6.066
80	8.035	1.256	6.030	3.417	80	13.66	0.895	9.666	6.150
5.00	8.195	1.234	6.170	3.516	11.00	13.86	0.888	9.773	6.234
20	8.358	1.213	6.308	3.615	20	14.07	0.882	9.880	6.318
40	8.524	1.193	6.444	3.713	40	14.27	0.876	9.986	6.402
60	8.695	1.175	6.578	3.810	60	14.48	0.870	10.09	6.486
80	8.865	1.157	6.711	3.907	80	14.69	0.864	10.20	6.569
6.00	9.040	1.140	6.842	4.003	12.00	14.89	0.858	10.30	6.652
20	9.217	1.125	6.972	4.098	20	15.10	0.853	10.40	6.735
40	9.395	1.110	7.101	4.192	40	15.31	0.847	10.51	6.817
60	9.576	1.095	7.228	4.286	60	15.51	0.842	10.61	6.899
80	9.758	1.081	7.354	4.380	80	15.72	0.837	10.71	6.981
7.00	9.943	1.068	7.479	4.472	13.00	15.93	0.832	10.81	7.062
20	10.13	1.056	7.603	4.565	20	16.14	0.827	10.91	7.144
40	10.32	1.044	7.725	4.656	40	16.35	0.822	11.01	7.225
60	10.50	1.032	7.847	4.748	60	16.56	0.817	11.11	7.306
80	10.69	1.021	7.967	4.838	80	16.77	0.812	11.21	7.386

3-jadval davomi $\alpha = 9.0$

β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^2 R_0}$	β	α	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{B}{R_0}$	$\frac{1}{\alpha^2 R_0}$
2.183	6.700	1.811	3.951	1.997	8.00	10.88	1.005	8.036	4.778
20	6.700	1.803	3.966	2.007	20	11.07	0.994	8.154	4.863
40	6.719	1.727	4.144	2.102	40	11.26	0.985	8.270	4.947
60	6.764	1.660	4.317	2.230	60	11.45	0.975	8.386	5.031
80	6.830	1.602	4.485	2.234	80	11.55	0.966	8.500	5.115
3.00	6.912	1.550	4.650	2.446	9.00	11.84	0.957	8.614	5.198
20	7.008	1.503	4.810	2.551	20	12.03	0.949	8.727	5.280
40	7.116	1.461	4.968	2.654	40	12.23	0.940	8.839	5.363
60	7.233	1.423	5.122	2.756	60	12.43	0.932	8.950	5.441
80	7.359	1.388	5.274	2.857	80	12.62	0.925	9.061	5.526
4.00	7.491	1.356	5.423	2.957	10.00	12.82	0.917	9.105	5.607
20	7.631	1.326	5.570	3.056	20	13.02	0.910	9.279	5.688
40	7.775	1.299	5.714	3.153	40	13.22	0.903	9.388	5.768
60	7.922	1.273	5.857	3.250	60	13.41	0.896	9.445	5.848
80	8.077	1.249	5.997	3.345	80	13.61	0.889	9.602	5.928
5.00	8.235	1.227	6.135	3.440	11.00	13.81	0.883	9.708	6.007
20	8.395	1.206	6.272	3.534	20	14.02	0.876	9.814	6.086
40	8.559	1.186	6.407	3.627	40	14.22	0.870	9.919	6.165
60	8.726	1.168	6.540	3.719	60	14.42	0.864	10.02	6.243
80	8.895	1.150	6.672	3.811	80	14.62	0.858	10.13	6.321
6.00	9.067	1.134	6.802	3.902	12.00	14.82	0.852	10.23	6.399
20	9.241	1.118	6.931	3.992	20	15.03	0.847	10.33	6.476
40	9.417	1.103	7.059	4.082	40	15.23	0.841	10.43	6.554
60	9.595	1.089	7.185	4.171	60	15.44	0.836	10.54	6.631
80	9.775	1.075	7.310	4.259	80	15.64	0.831	10.64	6.707
7.00	9.956	1.062	7.434	4.347	13.00	15.85	0.826	10.74	6.784
20	10.14	1.050	7.557	4.434	20	16.05	0.821	10.84	6.860
40	10.32	1.038	7.678	4.521	40	16.26	0.816	10.94	6.935
60	10.51	1.026	7.798	4.607	60	16.46	0.811	11.03	7.011
80	10.70	1.015	7.918	4.693	80	16.67	0.807	11.13	7.086

3-jachni dromi $\alpha = 10.0$

β	z	$\frac{h}{R_c}$	$\frac{B}{R_c}$	$\frac{1}{\kappa_c}$	β	z	$\frac{h}{R_c}$	$\frac{B}{R_c}$	$\frac{1}{\kappa_c}$
2.177	6.754	1.805	3.930	1.986	8.00	10.89	0.996	7.997	4.664
20	6.754	1.796	3.950	1.996	20	11.08	0.989	8.113	4.745
40	6.773	1.720	4.127	2.106	40	11.27	0.980	8.229	4.826
60	6.819	1.654	4.800	2.213	60	11.46	0.970	8.344	4.906
80	6.884	1.595	4.467	2.319	80	11.65	0.961	8.458	4.986
3.00	6.966	1.544	4.631	2.422	9.00	11.84	0.952	8.571	5.063
20	7.062	1.497	4.791	2.524	20	12.03	0.944	8.683	5.144
40	7.169	1.455	4.948	2.624	40	12.22	0.936	8.794	5.222
60	7.285	1.417	5.101	2.723	60	12.42	0.928	8.904	5.299
80	7.410	1.382	5.252	2.820	80	12.61	0.920	9.014	5.378
4.00	7.541	1.350	5.401	2.916	10.00	12.80	0.912	9.123	5.455
20	7.679	1.321	5.546	3.012	20	13.00	0.905	9.231	5.532
40	7.822	1.293	5.690	3.106	40	13.20	0.898	9.339	5.608
60	7.970	1.268	5.832	3.199	60	13.39	0.891	9.446	5.684
80	8.121	1.244	5.971	3.290	80	13.59	0.884	9.552	5.760
5.00	8.277	1.222	6.109	3.382	11.00	13.79	0.878	9.657	5.836
20	8.436	1.201	6.244	3.472	20	13.99	0.872	9.762	5.911
40	8.598	1.181	6.379	3.561	40	14.18	0.865	9.866	5.986
60	8.763	1.163	6.511	3.650	60	14.38	0.859	9.970	6.060
80	8.930	1.145	6.642	3.738	80	14.58	0.854	10.07	6.134
6.00	9.100	1.129	6.771	3.825	12.00	14.78	0.848	10.18	6.208
20	9.272	1.113	6.899	3.912	20	14.99	0.842	10.28	6.282
40	9.446	1.098	7.026	3.998	40	15.19	0.837	10.38	6.355
60	9.621	1.084	7.152	4.083	60	15.39	0.832	10.48	6.428
80	9.799	1.070	7.276	4.168	80	15.59	0.826	10.58	6.501
7.00	9.978	1.057	7.399	4.252	13.00	15.79	0.821	10.68	6.574
20	10.16	1.045	7.520	4.335	20	16.00	0.816	10.78	6.646
40	10.34	1.033	7.641	4.418	40	16.20	0.812	10.88	6.718
60	10.52	1.021	7.761	4.501	60	16.40	0.807	10.97	6.789
80	10.71	1.010	7.879	4.583	80	16.61	0.802	11.07	6.861

3-jachni dromi $\alpha = 12.0$

β	z	$\frac{h}{R_c}$	$\frac{B}{R_c}$	$\frac{1}{\kappa_c}$	β	z	$\frac{h}{R_c}$	$\frac{B}{R_c}$	$\frac{1}{\kappa_c}$
2.165	6.853	1.799	3.895	1.962	8.00	10.93	0.992	7.940	4.503
20	6.853	1.785	3.927	1.981	20	11.12	0.982	8.055	4.579
40	6.374	1.710	4.104	2.086	40	11.30	0.973	8.169	4.654
60	6.920	1.644	4.275	2.189	60	11.49	0.963	8.283	4.729
80	6.896	1.586	4.441	2.210	80	11.67	0.954	8.396	4.803
3.00	7.067	1.535	4.601	2.388	9.00	11.86	0.945	8.507	4.877
20	7.162	1.488	4.763	2.485	20	12.05	0.937	8.618	4.950
40	7.268	1.447	4.918	2.581	40	12.24	0.929	8.728	5.023
60	7.383	1.409	5.071	2.675	60	12.43	0.921	8.838	5.096
80	7.506	1.374	5.221	2.767	80	12.62	0.913	8.946	5.168
4.00	7.636	1.342	5.368	2.858	10.00	12.81	0.905	9.054	5.240
20	7.772	1.313	5.513	2.949	20	13.00	0.898	9.161	5.312
40	7.912	1.285	5.655	3.038	40	13.19	0.891	9.268	5.383
60	8.058	1.260	5.795	3.126	60	13.39	0.884	9.373	5.454
80	8.207	1.236	5.933	3.210	80	13.58	0.878	9.478	5.524
5.00	8.360	1.214	6.070	3.299	11.00	13.77	0.871	9.583	5.595
20	8.517	1.193	6.204	3.384	20	13.97	0.865	9.686	5.664
40	8.676	1.174	6.337	3.468	40	14.16	0.859	9.789	5.734
60	8.838	1.155	6.468	3.552	60	14.36	0.853	9.892	5.803
80	9.003	1.138	6.598	3.634	80	14.55	0.847	9.994	5.872
6.00	9.170	1.121	6.726	3.716	12.00	14.75	0.841	10.09	5.940
20	9.339	1.105	6.851	3.798	20	14.95	0.836	10.20	6.009
40	9.510	1.090	6.979	3.879	40	15.15	0.830	10.30	6.077
60	9.683	1.076	7.103	3.959	60	15.34	0.825	10.40	6.144
80	9.857	1.063	7.226	4.038	80	15.54	0.820	10.49	6.212
7.00	10.03	1.050	7.347	4.117	13.00	15.74	0.815	10.59	6.279
20	10.21	1.037	7.468	4.195	20	15.94	0.810	10.69	6.346
40	10.39	1.025	7.588	4.273	40	16.14	0.805	10.79	6.412
60	10.57	1.014	7.706	4.350	60	16.34	0.800	10.89	6.479
80	10.75	1.003	7.823	4.427	80	16.54	0.796	10.98	6.545

β	x	$\frac{h}{R_1}$	$\frac{R}{R_1}$	$\frac{1}{\sigma^{n-1} R_1}$	β	x	$\frac{h}{R_1}$	$\frac{R}{R_1}$	$\frac{1}{\sigma^{n-1} R_1}$
2.164	6.942	1.793	3.880	1.952	8.00	10.98	0.988	7.900	4.395
20	6.945	1.778	3.912	1.970	20	11.616	0.977	8.015	4.467
40	6.964	1.703	4.088	2.075	40	11.35	0.968	8.128	4.539
60	7.009	1.618	4.258	2.172	60	11.53	0.958	8.241	4.610
80	7.075	1.580	4.424	2.270	80	11.71	0.949	8.353	4.681
3.00	7.156	1.529	4.586	2.365	9.00	11.90	0.940	8.464	4.751
20	7.250	1.482	4.744	2.459	20	12.08	0.932	8.574	4.821
40	7.355	1.441	4.899	2.551	40	12.27	0.924	8.683	4.890
60	7.469	1.405	5.050	2.642	60	12.46	0.916	8.792	4.967
80	7.590	1.368	5.199	2.731	80	12.65	0.908	8.900	5.028
4.00	7.719	1.336	5.345	2.819	10.00	12.83	0.901	9.007	5.097
20	7.853	1.307	5.489	2.906	20	13.02	0.893	9.113	5.165
40	7.992	1.280	5.631	2.991	40	13.21	0.886	9.218	5.232
60	8.136	1.254	5.770	3.076	60	13.40	0.880	9.325	5.300
80	8.284	1.231	5.908	3.158	80	13.60	0.873	9.428	5.367
5.00	8.436	1.209	6.043	3.248	11.00	13.79	0.866	9.531	5.433
20	8.591	1.188	6.177	3.324	20	13.98	0.860	9.640	5.500
40	8.749	1.168	6.309	3.405	40	14.17	0.854	9.756	5.566
60	8.909	1.150	6.439	3.485	60	14.36	0.848	9.858	5.631
80	9.072	1.132	6.563	3.564	80	14.56	0.842	9.959	5.697
6.00	9.237	1.116	6.695	3.645	12.00	14.75	0.837	10.04	5.762
20	9.404	1.100	6.821	3.721	20	14.95	0.831	10.14	5.826
40	9.574	1.085	6.946	3.798	40	15.14	0.826	10.24	5.891
60	9.745	1.071	7.069	3.865	60	15.34	0.820	10.34	5.955
80	9.917	1.058	7.191	3.931	80	15.53	0.815	10.44	6.019
7.00	10.09	1.045	7.312	4.026	13.00	15.73	0.810	10.55	6.082
20	10.27	1.032	7.432	4.101	20	15.93	0.805	10.63	6.146
40	10.44	1.020	7.551	4.175	40	16.12	0.801	10.73	6.209
60	10.62	1.009	7.668	4.249	60	16.32	0.796	10.82	6.272
80	10.80	0.998	7.785	4.322	80	16.52	0.791	10.92	6.334

β	x	$\frac{h}{R_1}$	$\frac{R}{R_1}$	$\frac{1}{\sigma^{n-1} R_1}$	β	x	$\frac{h}{R_1}$	$\frac{R}{R_1}$	$\frac{1}{\sigma^{n-1} R_1}$
2.163	7.014	1.787	3.866	1.943	8.00	11.03	0.984	7.872	4.317
20	7.018	1.773	3.901	1.963	20	11.21	0.974	7.986	4.387
40	7.038	1.698	4.076	2.063	40	11.35	0.964	8.099	4.456
60	7.085	1.633	4.246	2.160	60	11.57	0.955	8.211	4.525
80	7.148	1.575	4.411	2.256	80	11.76	0.946	8.322	4.595
3.00	7.228	1.524	4.572	2.349	9.00	11.94	0.937	8.432	4.661
20	7.321	1.478	4.730	2.440	20	12.13	0.928	8.542	4.728
40	7.425	1.436	4.884	2.530	40	12.31	0.920	8.651	4.795
60	7.539	1.399	5.035	2.618	60	12.50	0.912	8.759	4.862
80	7.660	1.361	5.183	2.705	80	12.68	0.905	8.866	4.928
4.00	7.787	1.332	5.329	2.791	10.00	12.87	0.897	8.972	4.994
20	7.921	1.303	5.473	2.875	20	13.06	0.890	9.078	5.060
40	8.059	1.276	5.615	2.958	40	13.25	0.883	9.183	5.125
60	8.203	1.250	5.752	3.040	60	13.44	0.876	9.287	5.190
80	8.350	1.227	5.889	3.125	80	13.63	0.870	9.391	5.254
5.00	8.501	1.205	6.024	3.202	11.00	13.82	0.863	9.494	5.318
20	8.655	1.184	6.157	3.281	20	14.01	0.857	9.596	5.382
40	8.812	1.164	6.288	3.359	40	14.20	0.851	9.698	5.445
60	8.971	1.146	6.418	3.437	60	14.39	0.845	9.799	5.509
80	9.133	1.129	6.546	3.514	80	14.58	0.839	9.899	5.571
6.00	9.298	1.112	6.673	3.590	12.00	14.77	0.833	9.999	5.634
20	9.464	1.096	6.798	3.665	20	14.97	0.828	10.10	5.696
40	9.632	1.082	6.922	3.740	40	15.16	0.822	10.20	5.758
60	9.802	1.067	7.045	3.814	60	15.35	0.817	10.30	5.820
80	9.974	1.054	7.166	3.888	80	15.55	0.812	10.39	5.881
7.00	10.15	1.041	7.287	3.961	13.00	15.74	0.807	10.49	5.942
20	10.32	1.029	7.406	4.033	20	15.93	0.802	10.59	6.003
40	10.50	1.017	7.524	4.105	40	16.13	0.797	10.68	6.064
60	10.67	1.005	7.641	4.176	60	16.32	0.793	10.78	6.124
80	10.85	0.994	7.757	4.247	80	16.52	0.788	10.87	6.184

3-rodul dintr-un
 $\alpha=18.0$

β	x	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{a^{n-1} R_0}$	β	x	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{a^{n-1} R_0}$
2.163	7.072	1.784	3.359	1.938	8.00	11.08	0.981	7.850	4.259
20	7.077	1.769	3.892	1.957	20	11.26	0.971	7.964	4.327
40	7.097	1.695	4.067	2.055	40	11.44	0.961	8.076	4.394
60	7.141	1.629	4.236	2.151	60	11.62	0.952	8.188	4.461
80	7.205	1.572	4.401	2.245	80	11.80	0.943	8.299	4.527
3.00	7.285	1.521	4.562	2.336	9.00	11.90	0.934	8.409	4.593
20	7.378	1.475	4.719	2.426	20	12.17	0.926	8.518	4.659
40	7.482	1.433	4.873	2.514	40	12.36	0.918	8.626	4.724
60	7.595	1.395	5.023	2.600	60	12.54	0.910	8.734	4.787
80	7.716	1.361	5.171	2.685	80	12.73	0.902	8.840	4.853
4.00	7.843	1.329	5.316	2.769	10.00	12.91	0.895	8.946	4.917
20	7.977	1.300	5.459	2.851	20	13.10	0.887	9.052	4.981
40	8.115	1.273	5.600	2.933	40	13.29	0.880	9.156	5.044
60	8.258	1.247	5.738	3.013	60	13.48	0.874	9.260	5.107
80	8.405	1.224	5.874	3.091	80	13.66	0.867	9.363	5.170
5.00	8.556	1.202	6.009	3.171	11.00	13.85	0.861	9.466	5.232
20	8.710	1.181	6.141	3.248	20	14.04	0.854	9.568	5.294
40	8.867	1.162	6.272	3.325	40	14.23	0.848	9.669	5.356
60	9.026	1.143	6.402	3.401	60	14.42	0.842	9.770	5.417
80	9.188	1.126	6.530	3.476	80	14.61	0.836	9.870	5.478
6.00	9.352	1.109	6.656	3.550	12.00	14.80	0.831	9.969	5.539
20	9.518	1.094	6.781	3.624	20	15.00	0.825	10.07	5.599
40	9.686	1.079	6.904	3.697	40	15.19	0.820	10.17	5.659
60	9.855	1.065	7.027	3.769	60	15.38	0.815	10.26	5.719
80	10.03	1.051	7.148	3.841	80	15.57	0.809	10.36	5.778
7.00	10.20	1.038	7.268	3.912	13.00	15.77	0.804	10.46	5.838
20	10.37	1.026	7.386	3.982	20	15.96	0.800	10.55	5.897
40	10.55	1.014	7.504	4.052	40	16.15	0.795	10.65	5.955
60	10.72	1.003	7.620	4.121	60	16.35	0.790	10.75	6.014
80	10.90	0.992	7.736	4.190	80	16.54	0.786	10.84	6.072

$\alpha=20.0$

β	x	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{a^{n-1} R_0}$	β	x	$\frac{h}{R_0}$	$\frac{R}{R_0}$	$\frac{1}{a^{n-1} R_0}$
2.162	7.128	1.781	3.851	1.934	8.00	11.13	0.979	7.834	4.214
20	7.122	1.766	3.885	1.952	20	11.31	0.969	7.947	4.280
40	7.142	1.691	4.059	2.049	40	11.49	0.959	8.059	4.346
60	7.186	1.626	4.228	2.144	60	11.67	0.950	8.171	4.411
80	7.250	1.569	4.393	2.236	80	11.85	0.941	8.281	4.476
3.00	7.331	1.518	4.553	2.326	9.00	12.04	0.932	8.391	4.541
20	7.424	1.472	4.710	2.414	20	12.22	0.924	8.500	4.605
40	7.528	1.430	4.963	2.501	40	12.40	0.916	8.608	4.669
60	7.641	1.393	5.014	2.586	60	12.59	0.908	8.715	4.732
80	7.762	1.358	5.161	2.669	80	12.77	0.900	8.821	4.795
4.00	7.890	1.327	5.306	2.751	10.00	12.96	0.893	8.927	4.858
20	8.024	1.297	5.449	2.833	20	13.14	0.885	9.032	4.920
40	8.163	1.270	5.589	2.913	40	13.33	0.878	9.136	4.982
60	8.307	1.245	5.727	2.992	60	13.52	0.872	9.239	5.044
80	8.454	1.221	5.863	3.069	80	13.71	0.865	9.342	5.105
5.00	8.605	1.199	5.997	3.147	11.00	13.90	0.859	9.444	5.166
20	8.759	1.179	6.130	3.223	20	14.08	0.852	9.546	5.226
40	8.916	1.159	6.260	3.298	40	14.27	0.846	9.647	5.286
60	9.076	1.141	6.389	3.373	60	14.46	0.840	9.747	5.346
80	9.238	1.124	6.517	3.446	80	14.65	0.834	9.847	5.406
6.00	9.402	1.107	6.643	3.519	12.00	14.84	0.829	9.946	5.465
20	9.569	1.092	6.767	3.591	20	15.03	0.823	10.04	5.524
40	9.737	1.077	6.891	3.663	40	15.22	0.818	10.14	5.582
60	9.906	1.063	7.013	3.737	60	15.42	0.813	10.24	5.641
80	10.08	1.049	7.133	3.804	80	15.61	0.808	10.34	5.699
7.00	10.25	1.036	7.253	3.874	13.00	15.80	0.803	10.43	5.757
20	10.42	1.024	7.371	3.943	20	15.99	0.798	10.53	5.814
40	10.60	1.012	7.489	4.011	40	16.18	0.793	10.62	5.872
60	10.78	1.001	7.605	4.079	60	16.38	0.788	10.72	5.929
80	10.95	0.990	7.720	4.147	80	16.57	0.784	10.81	5.985

Kanal qirg'og'ining qiyaligi "m"-qiyalik koeffitsiyenti

Ilava, 7-jadval

Kanal hosini tashkil etuvchi tuproq	Qirg'og'ning qiyaligi m	
	Suv osti qismi	Suv usti qismi
soz tuproq	1-1,5	0,5-1,0
qumli soz tuproq	1,25-2,0	1,0-1,5
qum	1,25-2,25	1,5

Kanallarning va ko'tarmalarning "m" koeffitsiyenti

Ilava, 8-jadval

Zamin tuprog	O'zami hosil qiluvchi zamin tuprogga bog'liqlikda kanallarning qiyalik "m" o'tkazish koeffitsiyenti		Zamin tuprog	O'zami hosil qiluvchi zamin tuprogga bog'liqlikda kanallarning qiyalik "m" o'tkazish koeffitsiyenti	
	qiyaliklar			qiyaliklar	
	suv ostidagi	suv ustidagi		suv ostidagi	suv ustidagi
Qiyalik	0,00-0,50	0,00-0,25	Mayda qum	1,50-2,50	1,00
Yarim qiyalik	0,50-1,00	0,50	Changsimon qum	2,00-3,50	2,00
Shag'al-hushlik, Shag'al qumlar bilan	1,25-1,50	1,00			2,50
Gil, qumli og'ir va o'tlascha	1,00-1,50	0,50-1,00			
Qumli og'ir tuprog, qumli tuprog	1,25-2,00	1,00-1,50			

Ilava, 9-jadval

Zamin tuproq	Yarim ko'tarmada va ko'tarmada o'rnatiladigan kanallar ko'tarmasi tashqi tomon qiyalik "m" o'tkazish koeffitsiyenti	Zamin tuproq	Yarim ko'tarmada va ko'tarmada o'rnatiladigan kanallar ko'tarmasi tashqi tomon qiyalik "m" o'tkazish koeffitsiyenti
Gil, qumli og'ir va o'tlascha	0,75-1,0	Qumli tuproq	1,0-1,5
Qumli og'ir tuproq	1,0-1,25	Qum	1,25-2,0

Jadval 1 va 2 ta'limi. 1. Qiyalik o'tkazish birinchi shartiyati suv sari 0,5 m/s dan kam bo'lgan kanallar uchun, qiyalik o'tkazish ikkinchi shartiyati esa, suv sari 10 m/s dan ko'p bo'lgan kanallar uchun. 2. Kanallarning ichki va tashqi qiyaliklari jadvalda ko'rsatilganicha nishanlar o'rnatish mumkin, agar bu shartlar bo'yicha, qiyaliklar o'tkazish ishlar taraqqiyot usullari qo'llash zarur bo'lsa.

Ruxsat etiladigan tezliklar qiymatlari, θ , m/s

Ilava, 10-jadval

Tuproq zarrasining o'rtacha kattaligi, d_{av} (mm)	Oqimning o'rtacha cho'qqiligi, h (m)			
	0,5	1	3	5
A. Qumsimon tuproqlar uchun				
1	0,51	0,55	0,62	0,65
3	0,73	0,8	0,91	0,96
5	0,87	0,96	1,1	1,17
B. Gil tuproqlar uchun				
Yopishqoqligi, S	0,5	1	3	5
0,05	0,71	0,77	0,89	0,98
0,075	0,83	0,91	1,04	1,1

Yuvilishga qarshi ruxsat etilgan (yo'l qo'yilgan) tezliklar

Ilona 11-jadval

Zamin tuproq bo'lakchalarini o'rtacha yuvish, mm	Oqimning yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan o'rtacha tezligi, bir tarkibli o'zaro bog'liq bo'lmagan zamin tuproq uchun ular tarkibida 0,1 kg/m ³ , m/s dan kam bo'lganda va gilli qismchalar bilan, oqimning chuqurligi 1 m dan bo'lgandagi tezlik				Zamin tuproq bo'lakchalarini o'rtacha yuvish, mm	Oqimning yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan o'rtacha tezligi, bir tarkibli o'zaro bog'liq bo'lmagan zamin tuproq uchun ular tarkibida 0,1 kg/m ³ , m/s dan kam bo'lganda va gilli qismchalar bilan, oqimning chuqurligi 1 m dan bo'lgandagi tezlik			
	0,5	1	3	5		0,5	1	3	5
0,05	0,52	0,55	0,60	0,62	10,00	1,10	1,23	1,42	1,51
0,15	0,56	0,58	0,62	0,64	15,00	1,26	1,42	1,65	1,76
0,25	0,57	0,59	0,64	0,65	20,00	1,37	1,55	1,84	1,96
0,37	0,58	0,61	0,66	0,68	25,00	1,46	1,65	1,93	2,12
0,50	0,61	0,64	0,70	0,72	30,00	1,56	1,76	2,10	2,26
0,75	0,67	0,71	0,77	0,79	40,00	1,68	1,93	2,32	2,50
1,00	0,71	0,75	0,82	0,84	75,00	2,01	2,35	2,89	3,14
2,00	0,84	0,90	1,00	1,03	100,00	2,15	2,54	3,14	3,46
2,50	0,89	0,95	1,06	1,09	150,00	2,35	2,84	3,62	3,96
3,00	0,93	1,00	1,11	1,14	200,00	2,47	3,03	3,92	4,31
5,00	1,07	1,15	1,28	1,32	300,00	2,90	3,32	4,40	4,94

Eslatma. Jadval 1-4 da yuritilishga qarshi yo'l qo'yilgan tezlikdagi miqdor, zichligi $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$ bo'lgan, ish sharoiti ko'rsatilgan.
 $K_c = 1$ bo'lgan zamin tuproq uchun ko'rsatilgan. Boshqa holatlarda va boshqa ish sharoiti ko'rsatilgan zamin tuproq yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan tezlik jadval 1-4 da ko'rsatilgan miqdorlarni ularga teng ko'rsatish $\gamma = 1000$ ko'paytirish yo'li bilan aniqlanadi 1650.

Ilona 12-jadval

Qismchalarini o'rtacha kattaligi mm	Oqimlar yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan tezligi, bir, tarkibida va o'zaro bog'liq bo'lmagan zamin tuproq uchun m/c, kanalni to'ldirish chuqurligi 5% gacha va yuvilish chuqurligi m/s bo'lganda va kanal pastini hosil qiluvchi zamin tuproq turkumining bo'g'liq ko'rsatkichlariga bog'liq															
	$K_c=0.5$				$K_c=0.3$				$K_c=0.2$				$K_c=0.15$			
	suv oqimi chuqurligida, m															
	0.5	1	3	5	0.5	1	3	5	0.5	1	3	5	0.5	1	3	5
0.25	0.44	0.47	0.52	0.55	0.53	0.58	0.64	0.68	0.62	0.67	0.76	0.80	0.65	0.75	0.85	0.89
0.37	0.48	0.52	0.58	0.61	0.59	0.64	0.72	0.75	0.65	0.75	0.84	0.89	0.66	0.83	0.94	1.00
0.50	0.53	0.57	0.64	0.67	0.63	0.70	0.79	0.83	0.67	0.81	0.92	0.97	0.66	0.86	1.03	1.09
0.75	0.59	0.65	0.73	0.77	0.68	0.79	0.89	0.94	0.70	0.87	1.05	1.11	0.66	0.88	1.17	1.24
1.00	0.63	0.70	0.79	0.83	0.71	0.83	0.96	1.02	0.70	0.89	1.13	1.20	0.66	0.91	1.26	1.34
2.00	0.79	0.89	1.04	1.10	0.83	1.01	1.26	1.34	0.76	0.99	1.41	1.56	0.70	0.93	1.44	1.72
2.50	0.84	0.96	1.13	1.20	0.87	1.06	1.36	1.46	0.78	1.02	1.48	1.70	0.71	0.94	1.48	1.79
3.00	0.88	1.02	1.21	1.28	0.90	1.11	1.44	1.56	0.80	1.04	1.54	1.78	0.73	0.96	1.51	1.84
5.00	1.01	1.18	1.45	1.56	0.98	1.23	1.67	1.86	0.86	1.11	1.68	1.98	0.78	1.01	1.58	1.95
10.00	1.18	1.42	1.82	2.00	1.00	1.38	1.97	2.26	0.95	1.21	1.83	2.22	0.86	1.10	1.67	2.07
15.00	1.29	1.57	2.05	2.28	1.17	1.48	2.13	2.48	1.02	1.29	1.92	2.34	0.93	1.17	1.74	2.14
20.00	1.38	1.68	2.22	2.48	1.23	1.55	2.24	2.64	1.07	1.35	1.99	2.42	0.98	1.23	1.80	2.20
25.00	1.44	1.76	2.36	2.65	1.28	1.61	2.33	2.75	1.11	1.40	2.05	2.48	1.01	1.27	1.85	2.25
30.00	1.50	1.83	2.47	2.79	1.32	1.66	2.40	2.84	1.15	1.44	2.10	2.51	1.04	1.31	1.90	2.30
40.00	1.59	1.95	2.64	3.01	1.39	1.74	2.52	2.99	1.20	1.52	2.19	2.63	1.07	1.38	1.99	2.38
75.00	1.79	2.22	3.05	3.51	1.51	1.94	2.79	3.31	1.28	1.68	2.43	2.88	1.13	1.51	2.20	2.62
100.00	1.87	2.35	3.24	3.75	1.56	2.02	2.93	3.48	1.30	1.74	2.55	3.02	-	-	-	-
150.00	1.98	2.52	3.54	4.09	1.60	2.14	3.14	3.71	-	-	-	-	-	-	-	-

Eslatma: 1. 2-jadval 1-qa ishlatilgan kuring.

Hisobiy solishtirma hislash (ko'rsatish) C, Pa	Oqimning yuvilishga qarshi o'tacha tezligi, o'taroq bog'liq zamin tuproq uchun, tuproq moddasi tarkibida 0.2% dan kam tez eruvchan tuzlar, m/s, ga va oqimning choqurligi, m ga bog'liq.				Hisobiy solishtirma hislash (ko'rsatish) C, Pa	Oqimning yuvilishga qarshi o'tacha tezligi, o'taroq bog'liq zamin tuproq uchun, tuproq moddasi tarkibida 0.2% dan kam tez eruvchan tuzlar, m/s, ga va oqimning choqurligi, m ga bog'liq.			
	0.5	1.0	3.0	5.0		0.5	1.0	3.0	5.0
0.005	0.39	0.43	0.49	0.53	0.175	1.21	1.33	1.57	1.60
0.01	0.44	0.48	0.55	0.58	0.20	1.28	1.40	1.66	1.69
0.02	0.52	0.57	0.65	0.69	0.225	1.36	1.48	1.76	1.80
0.03	0.59	0.64	0.74	0.78	0.25	1.42	1.55	1.83	1.88
0.04	0.65	0.71	0.81	0.86	0.30	1.51	1.69	1.94	2.01
0.05	0.71	0.77	0.89	0.98	0.35	1.67	1.85	2.09	2.21
0.075	0.82	0.91	1.04	1.10	0.40	1.79	1.96	2.25	2.38
0.10	0.95	1.04	1.20	1.27	0.45	1.88	2.06	2.37	2.49
0.125	1.03	1.15	1.30	1.37	0.50	1.99	2.17	2.49	2.65
0.15	1.13	1.25	1.41	1.49	0.60	2.16	2.38	2.72	2.83

Hisoblar 1. Jadvall 1 ga e'tibor berib ko'ring.

2. Hisobiy solishtirma hislashlar, me'yoriy solishtirma hislashlar, bu zamin tuproqning bir turlik ko'rsatkichlariga ko'paytirish bilan o'lashtirish kerak. Me'yoriy solishtirma hislashlar deb hislashlar o'tacha tezliklar, tajribalar (25 marta dan kam ko'rsatkichlar) natijasida olingan ma'lumotlar bo'yicha qabul qilinishi kerak. Gili zamin tuproq bir turlik ko'rsatkichlar formula bo'yicha hisoblanadi: $K_0 = 1 - \alpha \sigma / C$.

bu yerda: α - eng kam ehtimollikni ta'vsiy qiluvchi ko'rsatkich va markaziy kanallar uchun - 2.65 boshqa qat'iy taqsimlagichlar uchun - 2.5, oxirgi qat'iy taqsimlagichlar uchun - 2.0

σ - tegri mexor taqsimlashni (ikki darajali xatoli)

C - zamin tuproqning o'tacha hisobiy qo'shilish ga teng.

Par qat'iy taqsimlagichlar uchun, suv yig'uvchi suv taqsimlanish kanallar uchun va kollektorlar suv qochirish sharoitida uchun hisobiy solishtirma ko'rsatkichlari haqidagi ma'lumot yo'q bo'lsa, qabul qilingan me'yoriy xarajadarga asosan qabul qilish lozim.

Hisobiy solishtirma hislash (ko'rsatish) C, Pa	Oqimning yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan o'tacha tezligi, o'taroq bog'liq sharoitlangan zamin tuproq uchun, tuproq tarkibida 0.2-0.3% tez eruvchan tuzlar bo'lsa, m/s, va oqimning choqurligi, m ga bog'liq.				Hisobiy solishtirma hislash (ko'rsatish) C, Pa	Oqimning yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan o'tacha tezligi, o'taroq bog'liq sharoitlangan zamin tuproq uchun, tuproq tarkibida 0.2-0.3% tez eruvchan tuzlar bo'lsa, m/s, va oqimning choqurligi, m ga bog'liq.			
	0.5	1.0	3.0	5.0		0.5	1.0	3.0	5.0
0.005	0.36	0.40	0.46	0.50	0.18	0.70	0.77	0.89	0.94
0.01	0.39	0.43	0.49	0.52	0.20	0.75	0.82	0.93	1.00
0.02	0.41	0.45	0.52	0.55	0.25	0.80	0.88	1.00	1.07
0.03	0.43	0.48	0.55	0.59	0.25	0.82	0.91	1.04	1.10
0.04	0.46	0.51	0.58	0.62	0.30	0.90	0.99	1.12	1.20
0.05	0.48	0.53	0.61	0.65	0.35	0.97	1.06	1.22	1.30
0.075	0.51	0.56	0.64	0.69	0.40	1.10	1.15	1.31	1.40
0.10	0.55	0.61	0.70	0.75	0.45	1.08	1.20	1.39	1.46
0.125	0.60	0.67	0.78	0.81	0.50	1.26	1.28	1.48	1.56
0.15	0.65	0.72	0.82	0.88	0.60	2.27	1.38	1.60	1.70

Hisoblar 1. Zamin tuproq tarkibida tez eruvchan tuzlar 5% ortiq bo'lsa, yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan xatolik muvofiqlashtirishga asoslanib o'rganilishi kerak. 2. Jadvall 1-3 e'tibor berib ko'ring.

Qoplamalar matnlar muvofiqlashtirish ko'rsatkichi (markasi)	Monolit beton bilan qoplangan kanallar uchun yig'ma temirbeton bilan va asfaltbeton bilan qoplangan, oqimni choqurligi, m, yuvilishga qarshi yo'l qo'yilgan o'tacha tezlik, m/s			
	0.5	1.0	3.0	5.0
50	9.6	10.6	12.3	13.0
75	11.2	12.4	14.3	15.2
100	12.5	13.8	16.0	17.0
150	14.0	15.6	18.0	19.1
200	15.6	17.3	20.0	21.2
300	19.2	21.2	24.3	26.1

Kanal o'zanining tuprog'i	O'zaro bog'liq va bog'liq bo'lmagan zamin tuproq uchun, oqim tarkibida gilli qismlar 0,1 kg/m ² va ortiqroq bo'lganda, ishning sharoit koeffitsiyenti K _s		
	markaziy kumalla va ularning tarmoqlari uchun	yuqori qatorli taqsimlagich kumalla uchun	past qatorli taqsimlagichlar uchun
Qum:			
mayda va o'rtacha yiriklikdagi	1,3	1,4	1,5
yirik va shag'alli	1,5	1,6	1,7
Shag'al:			
mayda	1,5	1,6	1,7
o'rtacha	1,4	1,5	1,7
yirik	1,2	1,2	1,4
Shag'alto'sh	1,1	1,2	1,3
Gilli zamin tuproq mavjudlikda			
kalaid shvoldagi cho'kmalar tagini ko'rsatuvchi cho'kmalar	1,3	1,4	1,6
Tagi va qiyaliklar o'simlik bilan qoplangan	0,75	0,8	0,85
Namlantirish etarli bo'lmagan viloyatlar uchun kumalla mavq ishlamaganda	1,1	1,15	1,2
	0,1	0,22	0,35

Eslatma: 1.Kumallarning uzoq vaqt ishlamagan qolishi zamin tuproqning qarushiga va ularni yuvilishga qarshiligini pasaytiradi.

2.Kumallarning vaqtida-vaqt ushlab olinmaydi va yo'l qu'yilgan tozlik kamaytirilmaydi, qachonki kanallar uchun yuvilish va qaysilarning yuvilishi ma'yniy foydalanishga qarshilik ko'rsatmaydi (suv yig'uvchi-suv tashlama kumalla, kam ishlovchi tashlamalar).

Loyqa xarrachalarining gidravlik kuttaligi

Bosq. 13-jadval

d, mm	W, mm/s	d, mm	W, mm/s	d, mm	W, mm/s
0,005	0,0175	0,06	2,49	0,15	15,60
0,01	0,0692	0,07	3,39	0,175	18,90
0,02	0,277	0,08	4,43	0,20	21,60
0,03	0,623	0,09	5,61	0,225	24,30
0,04	1,11	0,10	6,92	0,25	27,00
0,05	1,73	0,125	10,81	0,275	29,90

Ta'biyiyat shahri uning ($i > 0$) bali qidavlat ko'rsatkich (x)lari uchun $\phi(x)$ funksiyaning qiymati

ϕ	x									
	2,80	2,90	3,00	3,15	3,30	3,45	3,60	3,75	3,90	4,05
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
0,10	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
0,15	0,151	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
0,20	0,202	0,201	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,25	0,253	0,252	0,251	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
0,30	0,304	0,303	0,302	0,301	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
0,35	0,355	0,354	0,353	0,352	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351
0,40	0,406	0,405	0,404	0,403	0,402	0,402	0,402	0,402	0,402	0,402
0,45	0,457	0,456	0,455	0,454	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453
0,50	0,508	0,507	0,506	0,505	0,504	0,504	0,504	0,504	0,504	0,504
0,55	0,559	0,558	0,557	0,556	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555
0,60	0,610	0,609	0,608	0,607	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606
0,65	0,661	0,660	0,659	0,658	0,657	0,657	0,657	0,657	0,657	0,657
0,70	0,712	0,711	0,710	0,709	0,708	0,708	0,708	0,708	0,708	0,708
0,75	0,763	0,762	0,761	0,760	0,759	0,759	0,759	0,759	0,759	0,759
0,80	0,814	0,813	0,812	0,811	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810
0,85	0,865	0,864	0,863	0,862	0,861	0,861	0,861	0,861	0,861	0,861
0,90	0,916	0,915	0,914	0,913	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912	0,912
0,95	0,967	0,966	0,965	0,964	0,963	0,963	0,963	0,963	0,963	0,963
1,00	1,018	1,017	1,016	1,015	1,014	1,014	1,014	1,014	1,014	1,014
1,05	1,069	1,068	1,067	1,066	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065	1,065
1,10	1,120	1,119	1,118	1,117	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116	1,116
1,15	1,171	1,170	1,169	1,168	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167
1,20	1,222	1,221	1,220	1,219	1,218	1,218	1,218	1,218	1,218	1,218
1,25	1,273	1,272	1,271	1,270	1,269	1,269	1,269	1,269	1,269	1,269
1,30	1,324	1,323	1,322	1,321	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320
1,35	1,375	1,374	1,373	1,372	1,371	1,371	1,371	1,371	1,371	1,371
1,40	1,426	1,425	1,424	1,423	1,422	1,422	1,422	1,422	1,422	1,422
1,45	1,477	1,476	1,475	1,474	1,473	1,473	1,473	1,473	1,473	1,473
1,50	1,528	1,527	1,526	1,525	1,524	1,524	1,524	1,524	1,524	1,524
1,55	1,579	1,578	1,577	1,576	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575
1,60	1,630	1,629	1,628	1,627	1,626	1,626	1,626	1,626	1,626	1,626
1,65	1,681	1,680	1,679	1,678	1,677	1,677	1,677	1,677	1,677	1,677
1,70	1,732	1,731	1,730	1,729	1,728	1,728	1,728	1,728	1,728	1,728
1,75	1,783	1,782	1,781	1,780	1,779	1,779	1,779	1,779	1,779	1,779
1,80	1,834	1,833	1,832	1,831	1,830	1,830	1,830	1,830	1,830	1,830
1,85	1,885	1,884	1,883	1,882	1,881	1,881	1,881	1,881	1,881	1,881
1,90	1,936	1,935	1,934	1,933	1,932	1,932	1,932	1,932	1,932	1,932
1,95	1,987	1,986	1,985	1,984	1,983	1,983	1,983	1,983	1,983	1,983
2,00	2,038	2,037	2,036	2,035	2,034	2,034	2,034	2,034	2,034	2,034
2,05	2,089	2,088	2,087	2,086	2,085	2,085	2,085	2,085	2,085	2,085
2,10	2,140	2,139	2,138	2,137	2,136	2,136	2,136	2,136	2,136	2,136
2,15	2,191	2,190	2,189	2,188	2,187	2,187	2,187	2,187	2,187	2,187
2,20	2,242	2,241	2,240	2,239	2,238	2,238	2,238	2,238	2,238	2,238
2,25	2,293	2,292	2,291	2,290	2,289	2,289	2,289	2,289	2,289	2,289
2,30	2,344	2,343	2,342	2,341	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340	2,340
2,35	2,395	2,394	2,393	2,392	2,391	2,391	2,391	2,391	2,391	2,391
2,40	2,446	2,445	2,444	2,443	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442	2,442
2,45	2,497	2,496	2,495	2,494	2,493	2,493	2,493	2,493	2,493	2,493
2,50	2,548	2,547	2,546	2,545	2,544	2,544	2,544	2,544	2,544	2,544
2,55	2,599	2,598	2,597	2,596	2,595	2,595	2,595	2,595	2,595	2,595
2,60	2,650	2,649	2,648	2,647	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646	2,646
2,65	2,701	2,700	2,699	2,698	2,697	2,697	2,697	2,697	2,697	2,697
2,70	2,752	2,751	2,750	2,749	2,748	2,748	2,748	2,748	2,748	2,748
2,75	2,803	2,802	2,801	2,800	2,799	2,799	2,799	2,799	2,799	2,799
2,80	2,854	2,853	2,852	2,851	2,850	2,850	2,850	2,850	2,850	2,850
2,85	2,905	2,904	2,903	2,902	2,901	2,901	2,901	2,901	2,901	2,901
2,90	2,956	2,955	2,954	2,953	2,952	2,952	2,952	2,952	2,952	2,952
2,95	3,007	3,006	3,005	3,004	3,003	3,003	3,003	3,003	3,003	3,003
3,00	3,058	3,057	3,056	3,055	3,054	3,054	3,054	3,054	3,054	3,054
3,05	3,109	3,108	3,107	3,106	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
3,10	3,160	3,159	3,158	3,157	3,156	3,156	3,156	3,156	3,156	3,156
3,15	3,211	3,210	3,209	3,208	3,207	3,207	3,207	3,207	3,207	3,207
3,20	3,262	3,261	3,260	3,259	3,258	3,258	3,258	3,258	3,258	3,258
3,25	3,313	3,312	3,311	3,310	3,309	3,309	3,309	3,309	3,309	3,309
3,30	3,364	3,363	3,362	3,361	3,360	3,360	3,360	3,360	3,360	3,360
3,35	3,415	3,414	3,413	3,412	3,411	3,411	3,411	3,411	3,411	3,411
3,40	3,466	3,465	3,464	3,463	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462
3,45	3,517	3,516	3,515	3,514	3,513	3,513	3,513	3,513	3,513	3,513
3,50	3,568	3,567	3,566	3,565	3,564	3,564	3,564	3,564	3,564	3,564
3,55	3,619	3,618	3,617	3,616	3,615	3,615	3,615	3,615	3,615	3,615
3,60	3,670	3,669	3,668	3,667	3,666	3,666	3,666	3,666	3,666	3,666
3,65	3,721	3,720	3,719	3,718	3,717	3,717	3,717	3,717	3,717	3,717
3,70	3,772	3,771	3,770	3,769	3,768	3,768	3,768	3,768	3,768	3,768
3,75	3,823	3,822	3,821	3,820	3,819	3,819	3,819	3,819	3,819	3,819
3,80	3,874	3,873	3,872	3,871	3,870	3,870	3,870	3,870	3,870	3,870
3,85	3,925	3,924	3,923	3,922	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921	3,921
3,90	3,976	3,975	3,974	3,973	3,972	3,972	3,972	3,972	3,972	3,972
3,95	4,027	4,026	4,025	4,024	4,023	4,023	4,023	4,023	4,023	4,023
4,00	4,078	4,077	4,076	4,075	4,074	4,074	4,074	4,074	4,074	4,074
4,05	4,129	4,128	4,127	4,126	4,125	4,125	4,125	4,125	4,125	4,125
4,10	4,180	4,179	4,178	4,177	4,176	4,176	4,176	4,176	4,176	4,176
4,15	4,231	4,230	4,229	4,228	4,227	4,227	4,227	4,227	4,227	4,227
4,20	4,282	4,281	4,280	4,279	4,278	4,278	4,278	4,278	4,278	4,278
4,25	4,333	4,332	4,331	4,330	4,329	4,329	4,329	4,329	4,329	4,329
4,30	4,384	4,383	4,382	4,381	4,380	4,380	4,380	4,380	4,380	4,380
4,35	4,435	4,434	4,433	4,432	4,431	4,431	4,431	4,431	4,431	4,431
4,40	4,486	4,485	4,484	4,483	4,482	4,482	4,482	4,482	4,482	4,482
4,45	4,537	4,536	4,535	4,534	4,533	4,533	4,533	4,533	4,533	4,533
4,50	4,588	4,587	4,586	4,585	4,584	4,584	4,584	4,584	4,584	4,584
4,55	4,639	4,638	4,637	4,636	4,635	4,635	4,635	4,635	4,635	4,635
4,60	4,690	4,689	4,688	4,687	4,686	4,686	4,686	4,686	4,686	4,686
4,65	4,741	4,740	4,739	4,738	4,737	4,737	4,737	4,737	4,737	4,737
4,70	4,792	4,791	4,790	4,789	4,788	4,788	4,788	4,788	4,788	4,788
4,75	4,843	4,842	4,841	4,840	4,839	4,839	4,839	4,839	4,839	4,839
4,80	4,894	4,893	4,892	4,891	4,890	4,890	4,890	4,890	4,890	4,890
4,85	4,945	4,944	4,943	4,942	4,941	4,941	4,941	4,941	4,941	4,941
4,90	4,996	4,995	4,994	4,993	4,992	4,992	4,992	4,992	4,992	4,992
4,95	5,047	5,046	5,045	5,044	5,043	5,043	5,043	5,043	5,043	5,043
5,00	5,098	5,097	5,096	5,095	5,094	5,094	5,094	5,094	5,094	5,094
5,05	5,149	5,148	5,147	5,146	5,145	5,145	5,145	5,145	5,145	5,145
5,10	5,200	5,199	5,198	5,197	5,196	5,196	5,196	5,196	5,196	5,196
5,15	5,251	5,250	5,249	5,248	5,247	5,247	5,247	5,247	5,247	5,247
5,20	5,302	5,301	5,300	5,299	5,298	5,298	5,298	5,298	5,298	5,298
5,25	5,353	5,352	5,351	5,350	5,349	5,3				

α	β									
	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80
1,15	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039	0,040	0,041
1,20	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037	0,038	0,039
1,25	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035	0,036	0,037
1,30	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,034	0,035
1,35	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033
1,40	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029	0,030	0,031
1,45	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027	0,028	0,029
1,50	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,026	0,027
1,55	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025
1,60	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023
1,65	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021
1,70	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019
1,75	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017
1,80	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
1,85	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013
1,90	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011
1,95	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
2,00	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,05	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,10	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,15	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,20	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,25	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,30	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,35	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,40	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,45	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,50	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,55	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,60	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,65	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,70	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,75	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,80	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,85	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,90	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
2,95	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,00	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,05	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,10	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,15	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,20	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,25	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,30	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,35	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,40	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,45	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,50	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,55	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,60	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,65	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,70	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,75	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,80	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,85	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,90	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
3,95	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
4,00	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009

GLOSSARI

ADSORBLANGAN SUV (lot. *ad-* -da, yuzasida va *sorbo* -shimish) - molekular kuchlar ta'sirida qattiq jismlar yuzasida ushlab qoluvchi suv.

ARIQ DARVOZASI, DAXANA QULOQ - katta ariq va kanallardan kichik ariqlarga suv o'tadigan joyga o'rnatilgan inshoot, suv o'tkazuvchan maxsus darvoza.

ARXIMED BURAMASI - Arximed er. av. III asrda ixtiro qilgan suv ko'tarish mashinasi. Tikula uchi ochiq trubasi ichiga o'rnatilgan burama sirtli o'qdan iborat. Uni qiya holda suvga botirib, o'qning burama sirti shamol yoki boshqa harakatlantiruvchi vosita yordamida aylantirilganda suv trubaning ichki yuzasi bo'ylab 3-4 m yuqoriga ko'tariladi.

ARXIMED KUCHI - suyuqlikka botirilgan jisimga siqib chiqaruvchi kuch ta'sir qilib, bu kuchning kattaligi botirilgan jism siqib chiqargan suyuqlik og'irligiga teng bo'lgan kuchi.

ATMOSFERA (yunon. *atmos* - bug' va *sphaira* - shar) - Yer sirtini o'rab turgan havo qatlami.

AERATSIYALANGAN SUV - suv massasining havo bilan to'yinishi.

AMALIY KO'RINISHLI SUV UTKAZGICH (TUSHIRGICH) - bu inshootlar ikki xil: vakuumli va vakuumsiz bo'ladi. Ularning ko'rinishlari ma'lum javvallardan foydalanilib olingan nuqtalarga asoslanib chiziladi.

BALANS (fr. *Balance* - tarozi) - ma'lum bir muddatda kirim-chiqimning yakuniy nisbati (muvozanati).

BOSIM MARKAZI - Kuchning ta'sir etuvchisining qo'yilish nuqtasi bosim markazi deb ataladi.

VATER CHIZIGI - suvni suv bilan kesishish chizig'i.

VERNER - o'lchash asboblari (nivellar, teodolit va b.) da daraja bo'linalari bo'yicha uzunlik va burchaklarni aniqroq hisoblashga moslovchi uskuna (hushqacha nomi nonius). Ixtirochi, fransuz olimi P. Verne nomidan olingan.

GIGROGRAFI (gigro va graf) - namlikni qayd qiluvchi asbob.

GIDRAVLIKA (yunon. *hydraulikos* - suv va *aulos* - nay) - suyuqliklarning muvozanatdagi va harakatdagi qonunlarini o'rganib, texnikaga tatbiq etuvchi fan. Gidrostatika, gidrodinamika va ijuenerlik gidravlikasiga bo'linadi.

GIDRAVLIK YUQOLISH - suyuqlik oqimining barmot davomida energiyasining yuqolishi. Suv oqimining kanal yoki quvar ichidagi turli qarshiliklar (gradir-budirtik, burilish va b.) ni yengish uchun o'z energiyasining bir qismining yo'qolishi.

GIDRAVLIK USUL, BILAN (SUV KUCHI BILAN) YUVISH - inshootlarda (findirgichlar va b.k.) cho'kib qolgan loyqalarni gidravlik usul bilan tozalash. Agar inshoot qurilgan joyda suvning bosimi yetarli bo'lsa, loyqalarni gidravlik usul bilan yuvish qo'llaniladi. Buning uchun suv findirgichdan kanalga kiradigan darvozani berkitib, loyqalarni lishqariga chiqarib yuhuruvchi galereya darvozasi ochib qo'yiladi. Bu holda findirgichga kiradigan suv kanalga o'tmay, galereyada katta tezlik bilan oqib, cho'kib qolgan loyqalarni maxsus yerga yoki daryoning o'ziga oqizib ketadi. Loyqalar yuvib bo'lingandan keyin galereyaning darvozasi berkitilib,

kanaliki ochiladi va kanalga toza suv kira boshlaydi. Bitta kameradagi loyqalar yuvib tashlangach, ikkinchi kameradagi loyqalar yuviladi.

GIDRAVLİK ENG MAQBUL (O'TA AFZAL) KESIM — gidravlik jihatdan eng qulay kesim yuzasi (G.E.K.) deb berilgan sarfni eng katta tezlik bilan o'tkazadigan kesimga aytiladi. Kanalidagi suvning kesim yuzasi-harakat kesimi σ va ho'llangan perimetri z harflari bilan ifodalanadi. Kanalning gidravlik radiusi $R = \sigma/z$. Agarda $R = h/2$ bo'lsa, kanalning suv o'tkazish qobiliyati eng katta bo'ladi. Binobarin, $R = h/2$ bo'lganda suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi gidravlik eng maqbul kesim hisoblanadi.

GIDROTEKNIK INSHOOTLARNI GIDRAVLİK HISOBLASH — inshootlar va oqimning uzaro ta'siri davomida oqimning va inshootning gidravlik parametrlarini aniqlash. Gidroteknik inshootlarni loyihalashda, ko'rishda va foydalanishda ko'rin bo'lgan parametrlar topiladi.

GIDRAVLİK KO'RSATKICH — suv oqimining ho'llangan yuzasi, gidravlik radiusi va nisbatligidan iborat ko'rsatkichlar majmua.

GIDRAVLİK SAKRASH — suvning notinch (ushkin) holatdan tinch holatga o'tish jarayoni. h_1 chuqurlikda jo'shqin holida oqayotgan suv oqimining qisqa masofada h_2 chuqurlikdagi sokin (tekis turg'un) harakatga o'tish holati. Oqayotgan suvning chuqurligi h_1 kritik keskin chuqurlikdan kichik bo'lib, chuqurligi kritik keskin chuqurlikdan katta bo'lgan h_2 chuqurlikka o'tish jarayoni bazama vaqt gidravlik sakrash orqali yuz beradi. Dekala chuqurlikning ayirmasi ($a = h_2 - h_1$) gidravlik sakrashning balandligi deyiladi. Suv oqimining sakrashidan keyingi, chuqurligi (h_2) birinchi chuqurlik (h_1) bilan tutashtirilgan chuqurlik deyiladi. Gidravlik sakrash vaqtida suvning energiyasi 64–67% yo'qoladi. Katta kinetik energiyaga ega bo'lgan jo'shqin suv oqimi darvo o'zanini yoki inshootning pastki byeflarini yuvib yubormasligi uchun gidravlik sakrash yuz beradigan yerni va uning uzunligini bilish zarur. Odatda, gidravlik sakrash yuz beradigan joyni, mumkin qadar, inshootga yaqin keltirishga yoki uni yo'qotishga harakat qilinadi. Pastki byefdagi suvning chuqurligi (h_6) va sakrash balandligi bir-biriga nisbatan uch xil joylashishi mumkin: 1) $h_6 < h_2$ bo'lganida gidravlik sakrash to'siqsiz humda siqilgan chuqurlikda ancha narida yuz beradi; 2) $h_6 = h_2$ bo'lganida gidravlik sakrash siqilgan chuqurlikda yuz beradi; 3) $h_6 > h_2$ bo'lganida gidravlik sakrash pastki byef tomonidan qaytarib turiladi.

GIDRAVLİK TARAN — gidravlik zarba hisobiga suv chiqaruvchi mashina, gidravlik tarandan qishloq xo'jaligida, ayniqsa, tog'li yerlarda keng foydalaniladi. Gidravlik taranlarning ishlashi uchun hech qanday energiya kerak bo'lmaydi. Ularda energiya o'z-o'zidan paydo bo'ladi.

GIDRAVLİK ZARBA — naporli sharoitda ishlaydigan quvurlarda (vodoroved turmoqlarida, G.E.S va nasos stansiyalarining quvurlarida) uchraydigan hodisa. Naporli quvurlarning darvozalari tez ochib yuborilsa, quvurga suv tezlik bilan kiradi va uning ichidagi bosim keskin o'tib ketib, quvurni yoritib yuborish xavfi tug'iladi. Quvurning darvozasi tezda berkitib qo'yilganda quvur ichida vakuum hosil bo'lib, quvur parchalanib qolishi mumkin. Mana shu hodisa, ya'ni quvurda suv bosimining keskin ko'tarilishi va vakuum bosil bo'lishi natijasida yuz beradigan jarayon gidravlik zarba deyiladi. Gidravlik zarbani kamaytirish uchun maxsus tadbirlar ko'riladi.

GIDRAVLİK NISBABLİK (QIYALİK) — ma'lum masofa (l) dagi gidravlik yuqolishning (h) ning ma'kur masofaga nisbati: $l-h/l$.

GIDRANT — suv quvuridan suv olish uchun mo'ljallangan jumruk. Gidrant yer ustida va ostida joylashadi.

GIDRODINAMIKA — harakatdagi suyuqlikning qonunlarini o'rganib, texnikaga tatbiq etuvchi gidravlika bo'limi.

GIDRODINAMİK BOSIM — harakatda bo'lgan suvning bosimi. Gidroteknik inshoot ostidan sizib o'tadigan suvning bosimi.

GIDROSTATIKA — muvozanatdagi suyuqlik qonunlarini o'rganib, texnikaga tatbiq etuvchi gidravlika bo'limi.

GIDROSTATİK LOT — suvning chuqurligini o'lchaydigan asbob. Bu asbob turli tuzilishlarda bo'ladi. Masalan, ushbu boshqa asboblarga qarab bo'linib, uning ichidagi havo shuncha ko'p siqiladi. Mana shu siqilgan havo hajmiga qarab asbobning suvga qancha tushirilganini hisoblab topish mumkin. Suvning chuqurligini bevosita o'lchash vaqtida atmosfera bosimi va suvning temperaturasini nazarga olib, asbobning ko'rsatishiga tuzatishlar kiritiladi. Bunday asboblarda dengiz va ko'llarning 500 metrga yaqin chuqurliklarini o'lchash mumkin.

GIDROSTATİK BOSIM — gidrostatik bosim kuchining harakatsiz (muvozanatda) turgan suvning yuzasiga nisbati.

GIDROSTATİK G'AYRITABIIYLİK (PARDOKS) — gidravlika qonunlari bo'yicha suyuqlikdagi bosim uning shakliga bog'liq bo'lmay, uning chuqurligiga bog'liq.

DARSI Koeffitsiyenti — (gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti) quvur uzunligi bo'yicha yuqolgan naporni aniqlashda foydalanadigan koeffitsiyent. Quvurning materialiga, holatiga va harakat rejimiga bog'liq bo'ladi.

IVANOVNING TRAPESIYASIMON SIV UTKAZGICH — suv sarfi oz bo'lgan o'zamlardagi suvni tushirish va ularning miqdorini o'lchash ishlari uchun qo'llaniladigan suv o'tkazgich. Yon tomonlari 1:1 nisbatida ega, yuqori va pastki qismida reyka o'rnatilgan.

LAMINAR HARAKAT REJIMI — laminar harakat davomida suyuqlik oqimchalari bir-biriga parallel harakat qiladi. Truba devorlari esa unga yopishib qolgan suyuqlik zarrachalari bilan qoplanadi.

MUVOZANAT TENGLAMASI — suv muvozanatining kirish va sarflanish elementlarini bog'lovchi tenglama. Yopiq havza uchun kirish suvi havza maydoniga yog'adigan atmosfera yog'inidan, suv bug'larining suyuqlikka aylanishidan va yer osti suvlarining oqimidan tashkil topadi. Sarflanuvchi qismi ustki oqim, bug'lanish va havzadan oqib ketuvchi yer osti suvlaridan tashkil topadi.

NISBIY BALANDLIK — biror nuqtaning ikkinchi nuqtaga nisbatan balandligi.

REYNOLDS SONI — suyuqlik harakatini tezlikning oqim o'lchamiga ko'paytmashining quvushlik kinematik koeffitsiyentiga nisbati.

SIV SARFI — vaqt davomida bitta kesimidan o'tyotgan suv miqdori.

SIV AERATSIYASI (yunon. aer-havo) — suvning havo kislorodi bilan to'yinishi. S. a. suvni tizimlashtirish, shuningdek, uni erkin karbonat kislota va vodorod sulfidlaridan holi qilish maqsadida suvlarni tozalovchi vodoroved inshootlarida (bu ichimlik va san'at maqsadlarida foydalaniladigan suvning sifatini tubdan yaxshilaydi); oqava suvdagi erigan organik moddalar va boshqa ifodetlarning

mineralizatsiya jarayonini tezlatuvchi organizmlar – aerob bakteriyalarning hayot faoliyatini ta'minlash uchun; oqiva suvlarni biologik tozalash inshootlari (aerofiltr, biofiltrlar, maxsus moslama aeratori) yordamida suv oqimini havoda purkash yo'li bilan baliqchilik havzalarida amalga oshiriladi.

SUV OQIMINING GIDRAVLİK ELEMENTLARI – suv oqimining kesim yuzasi-harakat kesimi, ho'llangan perimetr, gidravlik radius nishablik, nuqtadagi tezlik, o'tacha tezlik, suv sarti va boshqalar.

SUVNING QOVUSHOQLIGI (YOPISHOQLIGI) – suv (suyuqlik) qatlamlarining nisbiy harakatiga (siljishiga) qarshilik ko'rsatuvchi xususiyati.

SUV OQIMINING KRITİK CHUQURLIGI – suv oqimining kesimidagi minimal solishtirma energiyasiga mos keluvchi chuqurlik.

SUV OQIMINING NORMAL CHUQURLIGI – o'zandagi (kanaldagi) tekis harakatga mos keluvchi suv oqimining chuqurligi.

TURBULENT HARAKAT REJIMI – Suyuqlikning tezligi oshgan sari zarrachalar betartib harakat qila boshlaydi. Natijada ular birinchi qavatlardan qo'shni qavatlarga o'tadi va energiyani ma'lum qismini yo'qotadi.

FRUD SONI – oqimning kinetiklik holatini ifodalovchi parametrlar. Oqimning ikkilangan kinetik energiyasining potentsial energiyasiga nisbati.

O'RTACHA TEZLIK – oqim sarfining harakat kesimiga nisbati.

HO'LLANGAN PERIMETR – suv oqimining qattiq sirt bilan chegarasi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Гиринлов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика) Санкт-Петербург: ИЛСНБПТУ, 2004 г.
2. Arifjanov A.M., Raximov Q.T., Xodjiev A.Q. Gidravlika TMM-2016y – 378b.
3. Д.П.Босоров, Р.М.Киримов, Ж.С.Калыев, С.К.Хидиров Гидравлика. Ташкент, 2003 йил
4. Melvyn Kay, Practical Hydraulics (Taylor & Francis 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN) 2008.-253 pages
5. Latipov Q.Sh. Gidravlika, gidromashinalar va gidropriivodlar.- Toshkent: O'qituvchi, 1992 y.
6. Shirentsev D.V. Gidravlika. M., Energoatomizdat, 1992 g.
7. Kiselev P. G. Gidravlika osnovi mexaniki jidkosti. M., Energiya 1980 g.
8. Bashin T. M., Rudnev S. S., Nekrasov B. I. va boshqalar, Gidravlika i gidravlicheskiye mashini M., "Mashinostroyeniye" 1980 g.1.
9. Osipov P. Ye. Gidravlika i gidravlicheskiye mashini, M., "Lesnaya promishlennost", 1965g.
10. Uginskiy A. A. Gidravlika i gidravlicheskiye mashini, Xarkov, Izd. Xarkovskogo Gosuniversiteta im. A. M. Gorkogo 1966g
11. Kostyushenko E.V., Laptev V.L., Xolodok L.A. Praktikum po gidravlike i gidromekhanizatsii sel'skokhozyaystvennix protsessov.- Minsk urojan, 1991g.
12. Yufin A. P. Gidravlika, gidravlicheskiye mashini i gidropriivodi M., "Vishaya Shkola", 197 1965g
13. A.Arifjanov, I.Axmedxodjayeva, A.Fatullayev. Suv resurslari.TMM, 2008y.
14. Nekrasov B.B. Zamechaniya po gidravlike, gidromashinam i gidropriivodu-M „Vishaya shkola“, 1995g.
15. Yesman I. G.Nisosi. Izd. Neftyanoy i Gornodolovnoy literatury, M., 1954 g.
16. Tumarkin M. B. Gidravlicheskiye sledyushie priivodi M., "Mashinostroyeniye", 1966 g.
17. Krivshenko G.L. Gidravlicheskiye mashini, M., Energiya 1978 g.
18. Prokofyev V.N., Danilov Yu.A., Kondakov L.A., Luganskiy A. S., Syelin Yu. A. Aksiyno-porshnevoy reguliruyemiy priivod, M., "Mashinostroyeniye" M., 1969 g.
19. Geysler V. G., Dumin V. S., Boromanskiy A. G., Zarya A. N. Gidravlika gidropriivod "Nedra" M., 1970 g.
20. K.Sh. Latipov - Seyuqliklarda ichki ishqalmish kuchlanishi haqida UzSSR FA Axborotlari, texnika fanlari seriyasi, 1980 y. № 6. 43-47- bet.
21. K.Sh. Latipov - Gidravlik qarshilik koeffitsiyentini aniqlashga doir. UzSSR FA Dokladlari 1982 y. № 8, 16-19-bet.
22. Norkin P. K., Latipov K. Sh. Gidrodinamicheskiye poredachi i oh'yemniy gidropriivod (konsepekt lektsiy) Izd-vo TashPI Tashkent - 1980 y.

MUNDARIJA

Kirish.....	3
I bob. Suyuqliklarning asosiy xossalari.....	6
1.1-§. Suyuqlik to'g'risida asosiy tushunchalar.....	6
1.2-§. Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar.....	7
1.3-§. Suyuqliklarning fizik xossalari.....	7
1.4-§. Suyuqliklardagi ishqalanish uchun Nyuton qonuni. Qovushqoqlik.....	11
1.5-§. Sirt tarratilishi (kapillarlik).....	15
1.6-§. Suyuqlik to'yingan bug'ining hisobi.....	16
1.7-§. Gazlarning suyuqlikda erishi. Kavitatsiya hodisasi haqida tushuncha.....	17
1.8-§. Ideal suyuqlik modeli.....	17
1.9-§. Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar.....	18
II bob. Gidrostatika.....	21
2.1-§. Suyuqliklarda bosim.....	21
2.2-§. Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari.....	22
2.3-§. Muvozanatdagi suyuqlikning differensial tenglamasi (Eylor differensial tenglamasi).....	23
2.4-§. Bosimni teng sirtlar. Erkin sirt.....	25
2.5-§. Eyley tenglamasining integrallari.....	26
2.6-§. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi.....	29
2.7-§. Absolyut, manometrik, vakuummetrik va atmosfera bosimlari. Bosim o'lchov birliklari.....	30
2.8-§. Bosim o'lchash asboblari.....	31
2.9-§. Paskal qonuni.....	34
2.10-§. Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim kuchi.....	39
2.11-§. Grafmatik usul.....	42
2.12-§. Gidrostatik g'ayritabiiylik (paradoks).....	43
2.13-§. Tigri sirtlarga ta'sir qiluvchi bosim.....	60
2.14-§. Bosim epyurasi.....	62
2.15-§. Arkimed qonuni.....	69
2.16-§. Jismlarning suyuqlikda suzishi. Suzuvchanlik.....	71
2.17-§. Nisbiy tinchlik.....	73
III bob. Suyuqliklar kinematikasi va dinamikasi asoslari.	
Suyuqliklarda harakat turlari.....	77
3.1-§. Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari.....	77
3.2-§. Oqimchali harakat haqida asosiy tushunchalar. Oqim chiziqlari, oqim maydoni va oqimcha. Suyuqlik oqimlari.....	79
3.3-§. Oqimning asosiy gidravlik elementlari.....	80
3.4-§. Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi.....	84
3.5-§. Ideal suyuqliklar uchun harakat tenglamasi. Suyuqlik harakati uchun Eyley tenglamasi.....	86
3.6-§. Real suyuqliklarda ichki kuchlar. Nave-Stoks tenglamasi.....	88

3.7-§. Elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi.....	92
3.8-§. Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari.....	96
3.9-§. Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi.....	101
3.10-§. Real suyuqliklar oqimi uchun Bernulli tenglamasi. Koriolis koeffitsiyenti.....	102
3.11-§. Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi.....	104
3.12-§. Gidravlik va peizometrik qiyaliklar haqida tushuncha.....	105
3.13-§. Gidravlik yo'qotish haqida tushuncha. Gidravlik yo'qotishning turlari.....	107
3.14-§. Tezlik va sarf o'lchash usullari haqida asboblari.....	108
IV bob. Suyuqlik harakatining tartiblari va gidrodinamik o'xshashlik asoslari.....	114
4.1-§. Suyuqlik harakatining ikki tartibi. Reynolds kritik soni.....	114
4.2-§. Gidrodinamik o'xshashlik asoslari. Gidrodinamik hodisalarni modellash.....	117
V bob. Suyuqliklarning laminar harakati.....	123
5.1-§. Tezlikning silindrik quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishi.....	123
5.2-§. Quvur uzunligi bo'yicha energiyaning yo'qotishi (Pauzeyl formulasi).....	125
5.3-§. Oqimning boshlang'ich bo'lagi.....	126
5.4-§. Tekis va halqasimon tirqishlarda suyuqlikning laminar harakati.....	127
5.5-§. Laminar oqimning maxsus turlari (o'zgaruvchan, qovushqoqlik, obliteratsiya).....	133
VI bob. Suyuqliklarning turbulent harakati.....	137
6.1-§. Suyuqlik turbulent harakatining xususiyatlari.....	137
6.2-§. Tezlik va bosim pulsatsiyalari.....	138
6.3-§. Tenglashtirilgan tezliklarning kesim bo'yicha taqsimlanishi.....	140
6.4-§. Turbulent harakatda urinma zo'riqlash.....	142
6.5-§. Quvurlarda bosimning kamayishi.....	146
6.6-§. Darsi formulasi va gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti (Darsi koeffitsiyenti).....	147
6.7-§. Quvur devorining g'adir-budirligi. Absolyut va nisbiy g'adir-budirlilik.....	149
6.8-§. Nikunadze va Murin grafiklari.....	150
6.9-§. Gidravlik silliq va g'adir-budir quvurlar.....	153
6.10-§. Darsi koeffitsiyentini aniqlash uchun formulalar va ularning qo'llanish sharoitlari.....	154
6.11-§. Nosilindrik quvurlardagi harakatlar.....	156
VII bob. Mahalliy gidravlik qarshiliklar.....	159
7.1-§. Mahalliy qarshilikning asosiy turlari. Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti.....	159
7.2-§. Reynolds sonining katta qiymatlari uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyentlari.....	163

7.3-§.	Quvurning keskin kengayishi (Hord teoremasi).....	163
7.4-§.	Diffuzoelar.....	166
7.5-§.	Quvurlarning torayishi.....	168
7.6-§.	Tirsaklar.....	169
7.7-§.	Reynolds sonining kichik qiymatlarida mahalliy qarshilik ko'effitsiyenti.....	170
7.8-§.	Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitatsiya hodisasi.....	172
7.9-§.	Kavitatsiyadan amalda foydalanish.....	173
7.10-§.	Mahalliy qarshiliklarning o'zaro ta'siri.....	174
	VIII bob. Suyuqliklarning teshik va naychalardan oqishi.....	177
8.1-§.	Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o'zgaruvchan bosimda oqishi ..	177
8.2-§.	Siqilish, tezlik va surt ko'effitsiyentlari.....	179
8.3-§.	Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi.....	180
8.4-§.	Turli xil naychalar.....	182
8.5-§.	Suyuqliklarning teshikdan o'zgaruvchan naporda oqishi.....	184
8.6-§.	Oqincha texnikasi haqida tushuncha.....	186
	IX bob. Quvurlarni gidravlik hisoblash.....	191
9.1-§.	Sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi.....	192
9.2-§.	Quvurning iqtisodiy tejimli diametrini topish haqida tushuncha.....	196
9.3-§.	Sifon quvur.....	197
9.4-§.	Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash.....	199
9.5-§.	Murakkab quvurlar.....	202
9.6-§.	Nasosdan ta'minlanuvchi quvur.....	204
9.7-§.	Elektrogidravlik o'xshashlik (analogiya) haqida tushuncha.....	207
	X bob. Gidravlikaning ulohida masalalari (maxsus kurs).....	215
	Suyuqliklarning beqaror harakati.....	215
10.1-§.	Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsiya hisini hisobga olingan beqaror harakati.....	216
10.2-§.	Gidravlik zarba hodisasi.....	219
10.3-§.	To'g'ri zarba uchun N. Ye. Jukovskiy formulasi.....	222
10.4-§.	Teskari gidravlik zarba haqida tushuncha.....	224
10.5-§.	Gidravlik zarbani susaytirish usullari.....	227
10.6-§.	Gidravlik zarbadan amalda foydalanish.....	228
	XI bob. Oqinning devorlar bilan o'zaro ta'sirlashuvi.....	231
11.1-§.	Oqinchaning to'siq'larga ta'siri.....	231
11.2-§.	Oqinning devorga ta'sir kuchi.....	232

	XII bob. Ochiq o'zarlarda (kanallarda) suyuqlik oqimining barqaror tekis harakati.....	235
12.1-§.	Suv oqimining tekis harakatini hisoblash formulalari.....	235
12.2-§.	Oqim harakat kesimining gidravlik elementlari.....	237
12.3-§.	Kanalning ishchi xarakteristikasi.....	238
12.4-§.	Parabola shaklidagi kanalning o'lcamlarini aniqlash.....	240
12.5-§.	Kanallarni loyihalashda vujudga keladigan ba'zi masalalarning yechish tartibi.....	242
12.5.1-§.	Gidravlik eng qulay (maqbul) kesim elementlarini hisoblash.....	243
12.5.2-§.	Gidravlik mustahkam kanal uchun statistik bog'lanishlar.....	244
	XIII bob. Ochiq o'zarlarda — kanallarda gidravlik elementlarini hisoblash.....	249
13.1-§.	Kanalidagi ruxsat etilgan tezliklar.....	249
13.2-§.	Yuvilmaydigan magistral kanalni loyihalash.....	249
13.3-§.	Kanalni loyqa bosishga qarshi tekshirish.....	252
13.4-§.	Oqinning loyqa uzatish qobiliyati. Dinamik mustahkam kanallar.....	252
	XIV bob. Ochiq o'zarlarda suyuqlik oqimining barqaror notekis harakati.....	255
14.1-§.	Notekis harakat. Asosiy tushunchalar.....	255
	XV bob. Suyuqlik oqimining barqaror notekis harakatining differensial tenglamasi.....	258
15.1-§.	Barqaror notekis harakat differensial tenglamasi.....	258
15.2-§.	Erkin sirt egriligining shakli. Erkin egri sirt sathi chizig'i.....	260
15.3-§.	Notekis harakat differensial tenglamasining (integrallashtirish) tahlili.....	263
15.4-§.	Mushg'ulotlarda informatsion va innovatsion texnologiyalardan foydalanish.....	265
15.4.1-§.	To'suvchi to'g'on inshoot oklidagi erkin sirt egri chizig'i uzunligini aniqlash.....	265
15.4.2-§.	Egri ko'tarilma chiziqning uzunligini aniqlash va qutish.....	271
	XVI bob. Gidrotexnik inshootlar gidravlikasi.....	282
16.1-§.	Suv o'tkazgichlar. Asosiy tushunchalar va suv o'tkazgichlar tasnifi.....	282
16.2-§.	Suv o'tkazgichlarning asosiy hisoblash formulasi.....	287
16.3-§.	Amaliy profilni suv o'tkazgichlar.....	288
16.4-§.	Keng ostonali suv o'tkazgichlar.....	295
16.5-§.	Yupqa devorli suv o'tkazgichlar.....	299
16.5.1-§.	Suv o'tlaydigan suv o'tkazgichlar.....	300
16.6-§.	Inshootlar bo'g'inini (gidrouzel)ni hisobi.....	302
	XVII bob. Gidravlik sakrash.....	310
17.1-§.	Gidravlik sakrash va uning elementlari.....	310
17.2-§.	Gidravlik sakrashning asosiy tenglamasi.....	311
17.3-§.	Gidravlik sakrash funksiyasi.....	312
17.4-§.	Gidravlik sakrash parametrlarini hisobi.....	314

XVIII bob. Byeflarni tutashtirish.....	318
18.1-§. Tabiiy nishabli o'zgariganda byeflarni tutashtirish.....	318
18.2-§. Inshoot to'g'onlardan suvni oshib o'tishida byeflarni tutashtirish.....	319
18.2.1-§. Gidrotexnik inshootlardagi darvozalar (zatvor)dan o'tayotgan suv sarfini hisoblash.....	321
18.2.2-§. Oqinni to'suvchi devor(zatvor) ostidan oqib chiqishi.....	323
XIX bob. Suv zarbini kamaytiruvchi inshootlar. Oqim energiyasini so'ndirgichlar.....	328
19.1-§. Energiyani so'ndiruvchi xovuz.....	328
19.2-§. Energiya so'ndiruvchi devor (to'siq).....	330
ILOVALAR.....	332
GLOSSARI.....	361
POYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	365

A.M. Arifjanov, X. Fayziyev, A.U.Toshxo'jayev

GIDRAVLIKA

Muharrir *Arifjan Ro'ziyarov*
 Badiiy muharrir va texnik muharrir *Dilmurod Jalilov*
 Sahifalovchi *Madina Abduhayeva*
 Musahhik *Nigora G'aniyeva*

Nashriyot litsenziyasi AI № 315. 24.11.2017.
2020-yil 8-oktabrda bosishga ruxsu etildi,
Bichini 60x84 $\frac{1}{16}$. Tince New Roman garnituras.
Ofset bosma. 13,5 shartli bosma taboq. 12,5 nashr tubog'i.
Adadi 100 nusxa. 14-raqamli buyurtina.
Bubosi shartnomma asosida.

YOSHLAR NASHRIYOT UYI.
Shayxontohur tumani, Navoiy ko'chasi, 11-uy.

"Avlo-Nashr" XK boshqaruvi chiqarilgan.
Toshkent shahar, 8-mart k'chasi, 57-uy.