

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM VAZIRLIGI**

**TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO'JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI**

**Arifjanov Aybek Muhamedjanovich
Samiyev Luqmon Nayimovich
Atakulov Dinislam Ermaganbet o'g'li**

GIDRAVLIKA
(Gidrodinamika bo'limi)

5450200-Suv xo'jaligi va melioratsiya
5450300-Suv xo'jaligi va melioratsiya ishlarini
mexanizatsiyalashtirish
5650100-Suv xo'jaligida ekologik xavfsizlik

O'quv qo'llanma

Toshkent 2020

Annotasiya

Ushbu o'quv qo'llanmada gidravlikaning Gidrodinamika bo'limining barcha mavzulari qamrab olingan bo'lib, mavzuga doir ma'ruzalar, amaliy mashg'ulotlar va laboratoriya mashg'ulotlari bayon etilgan va ularning gidravlik hisobi informatsion texnologiyalardan (EHMdan) foydalangan holda bajarish uslublari keltirilgan. Har bir mavzuda yangi masalalar va ularning yechimi bilan boyitilgan.

O'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan «Gidravlika» fani o'quv dasturi asosida yozilgan bo'lib, o'quv qo'llanma Gidravlika kursi rejalashtirilgan Suv xo'jaligi va meliorasiyasi, Suv xo'jaligini mexanizatsiyashtirish, Ekologiya va atrof muhit muhofazasi bakalavriatlari yo'nalishlari talabalari foydalanishlari uchun mo'ljallangan. O'quv qo'llanmada sohada erishilgan yangi fan yutuqlari ham o'z aksini topgan. O'quv qo'llanmadan soha mutaxassislari ham keng foydalanishlari mumkin.

Аннотация

Это руководство охватывает все темы гидродинамического гидротехнического департамента, описывает лекции, семинары и лабораторные занятия по этому предмету и их гидравлические расчеты с использованием технологий информационной технологии (ЕЭК) приведен ниже. Каждый предмет обогащен новыми проблемами и решениями.

Учебная программа была написана на основе учебной программы «Гидравлика», утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан. Учебная программа была подготовлена по курсу «Гидравлика». Экологическая и экологическая защита и механизации водного хозяйства (BSc). Учебная программа также отражает новые достижения в области науки. Специалисты в этой области могут также использовать учебное пособие.

Annotation

This manual covers all topics of the hydrodynamics hydrotechnical department, describes the lectures, seminars and laboratory classes on this subject and their hydraulic calculations using information technology (ECE) technologies below. Each item is enriched with new problems and solutions.

The curriculum was written on the basis of the curriculum "Hydraulics", approved by the Ministry of Higher and Secondary Special Education of the Republic of Uzbekistan. The curriculum was prepared for the course "Hydraulics". Ecological and environmental protection and mechanization of water management (BSc). The curriculum also reflects new advances in science. Specialists in this field can also use the tutorial.

T a q r i z c h i l a r:

X. Fayziyev

- Toshkent arxitektura va qurilish instituti Zamin poydevorlari kafedrası professori, t.f.d.

D.V. Nazaraliyev

- TIQXMMI «Gidrologiya va Gidrogeologiya» kafedra mudiri, t.f.n., dos.

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 zamonlardanoq (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 taminoti 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 tayangan 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.

Shunisi 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, Ye. 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 differentsial 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, Lagranjlarning ilmiy asarlari asos bo'ldi. U vaqtdagi 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.Veysbax va boshqa olimlarning ishlari hozirgi zamonda gidravlika deb ataluvchi amaliy fanning 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 fandır.

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 oshiralayotgan islohotlarning muvaffaqiyatida, jumladan irrigatsiya va melioratsiya, sug'orish tizimi, kimyo sanoati, qishloq xo'jaligi, mashinasozlik sanoati va texnikaning bir qancha sohalarida gidravlikaning ahamiyati beqiyosdir.

GIDRAVLIKA FANINING MARKAZIY OSIYO VA O'ZBEKISTONDA RIVOJLANISH TARIXI

Ushbu ming yillik so'ngida va II ming yillikni boshlanish davrida yerlardan foydalanishda o'z madaniyatiga ega Oltintepa – Markaziy Osiyo janubida paydo bo'lgan bo'lsa, keyinchalik II ming yillik o'rtalarida u aholi biz uchun noma'lum sabablarga ko'ra mintaqamiz sharqiga ko'chishgan. Balki, sug'orish rejimining buzilishi oqibatida yerlarning sho'rlanishi bunga sabab bo'lgandir. Murg'ob daryosi va Amudaryo (eski nomi Oko, keyinchalik Jayxun-quturgan) daryosining o'rta oqimi vodiylarida yangi aholi punktlari paydo bo'lib, ular ham sug'orma dehqonchilik bilan shug'ullanishgan. Bu taxminan eramizdan oldingi I ming yillikka to'g'ri kelib, ular Margiana i Baqtriya degan nomlar bilan yuritilganligi Frantsiyaning Parij shahridagi Luvr tarix muzeyining Markaziy Osiyo mintaqasi bo'limidagi xaritalarda e'tirof etilgan.

Bizning eramizgacha X asrga kelib, Markaziy Osiyoda temirdan yasalgan mehnat qurollaridan keng foydalanila boshlangan. Bu o'z navbatida sug'orma dehqonchilikdan keng foydalanish imkoniyatini yaratgan.

Bizning eramizgacha X-VII asrlarga kelib, Murg'ob daryosi del'tasida va Janubiy-Sharqiy Kasbiy bo'yi atroflarida katta maydonlarni sug'orishga muljallangan va katta daryolardan suvni oluvchi murakkab sug'orish tizimlari mavjud bo'lgan. Buning natijasida magistral kanallar tarmog'i paydo bo'lib, tabiiyki ular atrofida katta aholiga ega qal'alar va saroylar paydo bo'lgan. Bunga misol tariqasida eramizgacha IX-VI asrlarda Baqtriya (markazi Baqtriya), So'g'diyona, (markazi Maroqand, hozirgi Samarqand shahri yaqinida), kabi mamlakatlarni keltirish mumkin. Ularda va hozirgi Xorazm viloyati hamda Farg'ona vodiysi xududidagi viloyatlarda ham yetishtiriladigan hosil mo'lligini ta'minlovchi katta va kichik murakkab sug'orish tizimlari qurilganligi tarixiy manbalarda keltirilgan. Bizning eramizgacha I asrda Kushon davlati tarkibiga kirgan Baqtariyada shaharlar barpo etilib, juda ko'p miqdorda sug'orish kanallari qurilgan. Bu davlat juda katta bo'lib, uning sarhadlari Xitoydan sharqiy Erongacha

cho'zilgan. Kushon davlati Rimdan tortib, Kichik Osiyo davlatlarigacha savdo aloqalari qilib, savdo-sotiq Hindiston yarim oroli dengiz portlari orqali amalga oshirilgan.

U davrlarda yashash joylari xom g'ishtdan qurilib, ular tez-tez buzilib, o'z o'rnida qayta qurilib turilgan. Shu sababli, bu joylarda yerning balandlik belgisi doimo ko'tarilib, baland tepaliklar paydo bo'lgan. Bunga misol tariqasida Janubiy Turkmaniston xududidagi tepalikni keltirish mumkin. Undagi uylar qoldig'i balandligi 32 metrni tashkil etadi.

Eski sug'orish tizimlarini o'rganishda aerofotometodlardan keng foydalaniladi. Ushbu metodlar qo'llanilganda samolyotlar turli balandliklarda uchib, olingan materiallar qayta ishlangan va eski tarixiy sug'orish tizimlari to'g'risida aniq ma'lumotlar to'plangan. Samolyotlar uchish balandligi 300-130 m dan 300-600 m va 2000-1000 m balandliklarni tashkil qilgan. Albatta, olinadigan natijalar arxeologik tadqiqotlar natijalari bilan taqqoslanadi. Bunda asosan Mustaqil Davlatlar Hamdo'stligi mamlakatlari xududlari uchun 1:2000, 1:4000 va 1:6000 masshtablar qo'llanilgan.

Ikkinchi jahon urushidan keyin (Ikkinchi Jaxon urushi 1939-1945 yy.ga to'g'ri keladi) Markaziy Osiyo xududida va ayniqsa Amudaryo va Sirdaryo daryolar havzalarida sug'orish tizimlarini o'rganish bo'yicha arxeologik tadqiqotlar jadal olib borilgan. Bu albatta tabiiy, chunki bu davrga kelib, bu regionda ayniqsa Vatanimiz xududida jamiyat uchun juda kerakli paxta yetishtirishga ehtiyoj oshgan, buning uchun yangidan yangi yerlar o'zlashtirilishi va bu yerlarni sug'orish ehtiyoji o'sha davrda o'z tarkibiga Markaziy Osiyo davlatlarini olgan Sovet Sotsialistik Respublikalari Ittifoqi (SSSR) xukumati uchun juda yuqori bo'lgan.

Tadqiqotlar natijasi Vatanimizning Xorazm viloyati xududida arab maktablaridan birmuncha avvalgi davrlarda sug'orma dehqonchilikni rivojlantirishga doir tadqiqotlar va kuzatuvlar olib borilib, murakkab sug'orish majmualari qurilganligini ko'rsatgan. Mashhur olim Abu Rayxon Muxammad ibn Axmad al-Beruniy, (taxminan 973-1050 yy.) Amudaryoning gidrologik rejimini asoslab, u qor-muz erishi xisobiga suv bilan ta'minlanishini ta'kidlagan. Bu daryoda suv sathining ko'tarilishi va o'z navbatida oqib o'tayotgan suv miqdorining ko'payishi, Yaqin Sharq daryolari Tigr va Yefratlarda sathning pasayishiga to'g'ri kelishini ta'kidlagan va suv sathi yil davomida ikki marotaba ko'tarilib, birinchi ko'tarilish mart oyining 20 sanasiga to'g'ri kelib, u Ko'k qamish davrdagi suv sathi ko'tarilishi deb yuritilgan. Ikkinchi suv sathi ko'tarilishi iyun oyining ikkinchi dekadasi va avgust oyining boshlanishiga mos kelishini e'tirof etgan. Sobiq Ittifoq-SSSR Fanlar Akademiyasining Xorazm ekspeditsiyasi olimlari esa Orol bo'yidagi eng ko'hna sug'orish tizimlari mavjud bo'lganligini aniqlashgan. Bizning eramizgacha II minginchi yilligida dastlab Amudaryoning

ko'miluvchi irmoqlaridan sug'orish tizimi sifatida foydalanishgan. Keyinchalik eramizgacha IX-VIII asrlarda bu ko'milib qolgan irmoqlarda uzunligi 1 km gacha boradigan sug'orish ariqlari qazishgan. Bu ariqlarni tarmoqlarga bo'lishni ham o'zlashtirishgan.

Eramizgacha IX-VIII asrlarda Murg'ob oazisda yirik shaharchalar paydo bo'lib, ularda va ular atrofida bir necha kilometr uzunlikdagi magistral kanallar qazilgan. Murg'ob daryosi Amudaryoga nisbatan kichik va kam quvvatli bo'lganligi sababli, bu daryoni boshqarish Amudaryoga nisbatan oson bo'lgan va shu sababli, unda ko'proq sug'orish tizimlari qurilib, ishlatilgan. Tedjen daryosidagi irrigatsiya va gidrotexnika inshootlarni qurish Amudaryo havzasida jadal olib borilganligini ham shu fikr bilan asoslash mumkin.

Arxik davrda Markaziy Osiyoda madaniyatni yuksak darajada rivojlanishi ham suvga bo'lgan ehtiyojni oshirib, magistral kanallar qurilishiga zamin yaratgan.

Shu o'rinda ta'kidlash joizki, Amudaryo qirg'oqlarida qurilgan bu murakkab irrigatsiya tizimlari sxemalari juda ajoyib muxandislik yechimlari mavjudligini ko'rsatadi. Masalan magistral kanalning loyqa bosishini oldini olish uchun suv dastlab, quriyotgan daryo irmog'iga olingan va bu keng sohada loyqa suv tindirilib, keyin magistral-shox kanalga va undan taqsimlash kanallariga uzatilgan. Magistral kanal uzunligi 9 km, kengligi 15-20 m. atrofida bo'lgan. E'tibor bering, AQSh irrigatsiya tarmoqlarida hozirda qo'llanilayotgan usul bizning ajdodlarimiz tomonidan bir necha ming yil avval qo'llanilgan ekan.

Irrigatsiyaning rivojlanishi natijasida Markaziy Osiyoda Amudaryoning asosiy o'zanidan suv olish inshootlarini qurish usullari ham o'zlashtirilgan. Bunda kanallar ko'ndalang kesimi suv sathi bo'yicha 40 m kenglikka va uzunligi bir necha 10 km ni tashkil etgan.

Bizning eramizgacha, VI-V asrlarga kelib, irrigatsiya va gidrotexnika shunday darajada rivojlanganki, u davrda qurilgan kanallarda insonlar 1000-1200 yil davomida foydalanishgan. Suv olish inshootlarining boshlanish uchastkalari, suv oqimining loyqalari hisobiga tez loyqa bosgan va uni tozalanishi oqibatida hozirgi Qarshi magistral va Buxoro mashina kanallarining bu uchastkalaridagi vaziyatlar vujudga kelgan. Buning natijasida yangi suv olish kanali qurilgan, u tabiiyki, avvalgi o'rniga nisbatan daryoning yuqori oqimida qurilgan va bu suv olish kanali uzunligi 15-20 kilometrni tashkil etgan. Xuddi shu vaziyat Amu-Buxoro Mashina kanalida kuzatilmoqda. Umumiy uzunligi 1 km atrofidagi suv olish kanali hozirda 14 km ga yetgan. Suv olish kanalining umumiy kengligi 20 m atrofida bo'lgan. Bu arxik davr kanallari yetarli darajada sayoz va keng bo'lganligini tasdiqlagan. Taqsimlovchi kanallar avvalgi o'zanlarga nisbatan boshqacha shaklda bo'lgan. Lekin, magistral kanaldan to'g'ri burchak bilan uzoqlashgan, bu suvning tejamini kamaytirgan. Bunday shakldagi kanallar arab davlatlari xududida ham mavjud

bo'lganligi aniqlangan. Bunday to'g'ri to'rtburchak shakldagi, to'g'ri burchak ostida tutashgan kanallarni tez loyqa bosganligi kuzatilgan.

Bizning eramizgacha I-IV asrlarga kelib, hozirgi Xorazm viloyati xududida Amudaryoning asosiy o'zanidan suv oluvchi yuqori quvvatli suv olish imkoniyatiga ega bo'lgan magistral kanallar barpo etilgan. Bunday kanallar atrofida yirik aholi yashaydigan xududlar, shaharlar, qal'alar vujudga kelgan. Shu bilan birgalikda eski kanallar o'rnida yoki ularga yaqin xududda ko'ndalang kesimi kichik va katta chuqurlikka ega bo'lgan kanallar ham qazilgan. Bu yer qazish ishlarini kamaytirib, kanallarni o'zani tubiga qattiq jism zarrachalari – nanoslarni cho'kish jadalligini kamaytirib, tozalash ishlari hajmini ham kamaytirgan. Taqsimlash kanallari ham to'g'ri burchak ostida emas, balki o'tkir burchak ostida magistral kanalga tutashtirilgan. Bu kanallarning umumiy uzunligi 300 km atrofida bo'lgan.

Yana jonajon Vatanimiz xududidagi gidrotexnik inshootlardan biri – to'g'onlar bo'lib, ular baland sug'orish maydonlariga suvni yetkazishda qo'llanilgan. Lekin ular nimjon materiallar, masalan taxtalardan qurilganligi sababli, nisbatan tez buzilgan va har yili qaytadan qurilgan.

Sug'orma dehqonchilik rivojlanishi Sariqamish del'tasida ham taxminan Xorazmda rivojlangan davrga to'g'ri keladi. Bu xududda 40 metr kenglikdagi kanallar barpo etilgan. Bundan tashqari, kanallarning ko'ndalang kesimida sath bo'yicha kengligi 16, 15, 14 m va undan ham kichik bo'lgan. Kanallar qisqa bo'lib, magistral kanal bilan to'g'ri burchak ostida tutashgan bo'lgan. Ularning o'zan tubi nishabligi 0,001 bo'lgan. Bizning eramizgacha IV asrgacha xuddi Amu Buxoro Mashina kanalidagidek bir necha suv olish kanallariga ega bo'lgan magistral kanallar barpo etilgan. Suv olish kanallari quriladigan daryoning sohasida dambalar va oqimni yo'naltiruvchi inshootlar qurilib, yuvilishni oldini olishgan va suv olish inshootlarini ekspluatatsion sharoitini to'g'rilashgan. Shu bilan birgalikda me'yoridan ortiq suvni o'tkazish uchun boshqaruv suv tashlash kanallarini qurishni ham bizning Vatanimizda o'zlashtirishgan. Bundan tashqari, magistral kanalning ko'ndalang kesim yuzasi oqim yo'nalishida kirish sohasidan boshlab torayib borishi ham aynan Vatanimiz xududida ilk bor gidrotexnika amaliyotida qo'llanilgan. Masalan, shu davrdagi umumiy uzunligi 30 km bo'lgan kanalning kirish sohasida ko'ndalang kesimining sath bo'yicha kengligi 22-25 m bo'lgan bo'lsa, tugash qismida bu kanal ko'ndalang kesimi taxminan 9-10 m bo'lgan. Boshqa bir umumiy uzunligi 50 km bo'lgan kanalning kirish sohasida ko'ndalang kesimining sath bo'yicha kengligi 45 m bo'lgan bo'lsa, tugash qismida bu kanal ko'ndalang kesimi taxminan 12 m bo'lgan. Bu usul bizning eramizgacha V asr boshlarida keng qo'llanila boshlanib, ushbu tadbir o'tkir burchak ostida asosiy

o'zan bilan tutashgan kanallarda suvni tejab, loyqa bosishni kamaytirgan va kanal o'zanini cho'kkan nanoslardan tozalash ishlari hajmini kamaytirgan.

Eski Shoxobod - hozirgi Shavot kanali eski Vedak va Buvva (Buva) kanallari o'zanida qazilib, bizning eramizda qariyb ming yil davomida foydalanilgan. Vedak Urganch shahri aholisini suv bilan ta'minlagan. Bu kanallar Madra kanaliga tutashib, Gurganj shahrigacha borgan. Madra kanali hozirgi G'azovot kanali o'zanida bo'lgan.

Eski kanallardan biri Kurder (Kerder) hozirgi Kegeyli kanali o'zanida bo'lgan. Kegeyli kanali 4 ta suv olish kanaliga ega bo'lgan. Bu suv olish kanallari ma'lum masofada birlashtirilib, asosan daryodagi suv sathi va suvga bo'lgan ehtiyojga qarab foydalanilgan. Bu kanal Amudaryoning eski o'zanida qurilgan degan ma'lumot tarixiy manbalarda keltirilgan.

Sirdaryo havzasida ham irrigatsiya tizimlarini va gidrotexnika inshootlarini qurilishi taxminan xuddi Amudaryodagi kabi keltirilgan davrlarda davom etgan. Kanallar kengligi va uzunligi va boshqa suv oqimining gidravlik parametrlari va gidrodinamik xarakteristikasi Xorazmdagi kanallarga mos kelgan. Bizning eramizgacha VI-I asrlarda suv oqimini boshqarish maqsadida magistral kanallar tizimi va kichik suv omborlari qurilib, ular o'zaro tutashtirilgan. Asosiy o'zanlarda suv kamayganda bu suv omborlaridagi suv hajmlaridan foydalanilgan. Keyinchalik Markaziy Osiyo xududidagi Mesopotamiya davlatida ham suv oqimini boshqarish va undan oqilona foydalanishda shu usullar keng qo'llanilgan. Masalan, bizning eramizgacha II ming yillikda qurilgan havza planda kvadrat shaklda bo'lib, tomonlari 180 m, chuqurligi 1-2 m, umumiy suv hajmi taxminan 30-35 ming kubometr bo'lgan.

Sirdaryo xavzasida, irrigatsion tizimlarni qurilishi uchun tarixiy sharoitlar bo'lmaganligi sababli, xududida eski arxik sug'orish tizimlari saqlanib qolgan.

Masalan, Toshkent shahri tarixi 2 000 yillar atrofida bo'lib, u tarixiy arab manbalarda ilk bor Chosh yoki Shosh deb, eramizgacha II asr boshlarida paydo bo'lgan. Buyuk mutafakkir al-Xorazmiy IX asrda Toshkent Chirchiq daryosi suvi bilan sug'oriladigan oazisda joylashgan deb e'tirof etgan. Yirik irrigatsiya inshootlari bu xududda eramizgacha VI va II asrlarda hozirgi Toshkentning o'rnida mavjud bo'lgan Shoshtepa shaharchasi xududida va uning atrofida qurilganligi tarixiy manbalarda e'tirof etilgan.

Sirdaryoning ko'milgan irmoqlari ham Amudaryoniki kabi sug'orish maqsadlarida foydalanilgan. Bu kanallar ko'ndalang kesimi sath bo'yicha kengligi 10 metr atrofida bo'lib, uzunligi 180 km gacha yetgan.

Umumiy sug'orish maydoni, Orol dengizi atrofida, ya'ni Orol dengizi havzasida 5 mln ga maydonni tashkil etgan.

Bu xududda murakkab sxemali irigatsiya tizimlari va gidrotexnik inshootlar eramizgacha I ming yillikda mavjud bo'lganligi Xitoy tarixiy manbalarida keltirilgan.

Ashxoboddagi (Annau) nurab ketgan muhandislik inshooti qadimda quruvchilar katta sug'orish tizimlarini qurishni bilganliklaridan dalolat beradi. Masalan, juda qadimiy, hozirda ham ishlayotgan sug'orish tizimi – «Shoxrud» ming yillar ilgari O'rta Osiyoda qurilgani bizni hayratga soladi. 861 yilda Abul Abbos Axmad ibn Muxammad ibn al-Farg'oni (taxminan 797-865 yillar) Qohira yaqinidagi Ravzo orolida nilometrni, ya'ni Nil daryosi suvi sathini belgilovchi uskunani yasagan. O'zbek davlatchiligi asoschilaridan biri Amir Temur saroyida qurilgan favvora inshooti ko'pchilik yevropalik elchilarni hayratga solganligi tarixiy manbalarda ta'kidlangan. Fikrimizning isboti sifatida frantsuz yozuvchisi Lyusben Keren tomonidan yozilgan «Amir Temur saltanati» asarida Ispaniya hukmdori Henri III ning Vatanimizga jo'natgan elchisi Rui Gonsales de Klavixoning kundaligida 1404 yil 8 sentyabrdagi ulug' Amir Temurning Samarqand shahri tashqarisidagi uchrashuvini quyidagicha ta'riflagan: "Hukmdor (Amir Temur) hashamatli uy oldidagi shohsupa ustida o'tirardi. Uning yonidagi favvora suvlari ancha balandga otilib, xovuzga qaytib tushar, hovuzda esa qizil olmalar suzib yurardi". Bu ma'lumotlar suyuqlik va suyuqlik oqimini o'rganish va undan foydalanish bizning Vatanimizda qadimdan boshlanganligi haqida so'z yuritishimizga asos bo'ladi. Shu o'rinda g'urur bilan ta'kidlashimiz mumkinki, irigatsiya va gidrotexnika inshootlarini qurish, ulardan samarali foydalanish sohasida bizning Vatanimizda yashagan ajdodlarimiz yuqori darajadagi bilim va tajribalarga ega bo'lgan. Tan olish kerak, ajdodlarimizning o'zandagi jarayonlar, suv saqlash inshootlari, kanallarni qurish tajribalarini o'z zamonasining eng oliy darajasidagi, hattoki hozirgi davrda bizga noma'lum bo'lgan bilim va ko'nikmalarga ega bo'lganligini yuqoridagi fikrlarimiz to'liq tasdiqlaydi.

I BOB. SUYUQLIKLAR KINEMATIKASI VA DINAMIKASI ASOSLARI.

SUYUQLIKLARDA HARAKAT TURLARI

Gidravlikaning suyuqliklar harakat qonunlari va ularning harakatlanayotgan yoki harakatsiz qattiq jismlar bilan oʻzaro taʼsirini oʻrganuvchi boʻlimi **gidrodinamika** deyiladi.

Harakatlanayotgan suyuqlik vaqt va koordinata boʻyicha oʻzgaruvchi turli parametrlarga ega boʻlgan harakatdagi moddiy nuqtalar toʻplamidan iborat. Odatda suyuqlikni oʻzi egallab turgan fazoni butunlay toʻldiruvchi tutash jism deb qaraladi. Bu degan suz tekshirilayotgan fazoning istalgan nuqtasini olsak, shu yerda suyuqlik zarrachasi mavjuddir. Hidrostatikada asosiy parametr bosim edi, gidrodinamikada esa bosim va tezlikdir.

1.1. Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari

Suyuqlik harakat qilayotgan fazoning har bir nuqtasida shu nuqtaga tegishli tezlik va bosim mavjud boʻlib, fazoning boshqa nuqtasiga oʻtsak, tezlik va bosim boshqa qiymatga ega boʻladi, yaʼni tezlik va bosim koordinatalar x, u, z ga bogʻliq. Nuqtadagi suyuq zarrachaga taʼsir qilayotgan bosim va tezlik vaqt oʻtishi bilan oʻzgarib borishini tabiatda kuzatish mumkin.

Tezlik va bosim maydonlari. Suyuqlik harakat qilayotgan fazoning har bir nuqtasida hayolan tezlik va bosim vektorlarini koʻrib chiqsak, koʻrilayotgan harakatga mos keluvchi tezlik va bosim toʻplamlarini koʻz oldimizga keltira olamiz. Ana shu usul bilan tuzilgan tezlik *toʻplami tezlik maydoni* deyiladi. Shuningdek, bosim vektorlaridan iborat toʻplam *bosim maydoni* deb ataladi. Tezlik va bosim maydonlari vaqt oʻtishi bilan oʻzgarib boradi. Hidrostatikadagi kabi gidrodinamikada ham gidrodinamik bosimni p bilan belgilaymiz va uni sodda qilib bosim deb ataymiz. Tezlikni esa u bilan belgilaymiz. U holda tezlikning koordinata oʻqlaridagi proyeksiyalari u_x, u_y, u_z boʻladi.

Yuqorida aytib oʻtilganga asosan suyuqlik parametrlari funktsiya koʻrinishida yoziladi

$$\begin{aligned} p &= f_1(x, y, z, t) \\ u &= f_2(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (1.1)$$

tezlik proyeksiyalari ham funktsiyalardir:

$$\begin{aligned} u_x &= f_3(x, y, z, t) \\ u_y &= f_4(x, y, z, t) \\ u_z &= f_5(x, y, z, t) \end{aligned}$$

Bu keltirilgan funktsiyalarni aniqlash va ular oʻrtasidagi oʻzaro bogʻlanishni topish

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 harakatlar 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

$$\begin{aligned} p &= f_{11}(x, y, z) \\ u &= f_{21}(x, y, z) \end{aligned} \quad (1.2)$$

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 harakatlar*. 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 naporli va naporsiz harakati, gohida bu tushunchalar shartli bosimli va bosimsiz harakatlar deb ham qabul qilingan.

Naporli harakat vaqtida suyuqlik har tomondan devorlar bilan o'ralgan bo'lib, erkin sirt bilan chegarasi bo'lmaydi. Bunday harakatga naporli 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'lmasdan oqayotgan suyuqlikning harakatlari misol bo'la oladi.

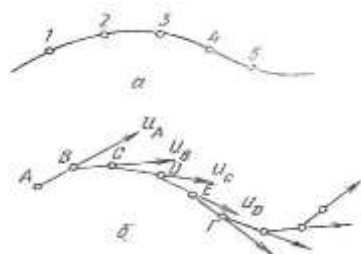
Struyali harakat. Struyali harakat vaqtida suyuqlik faqat havo bilan chegaralangan buladi.

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

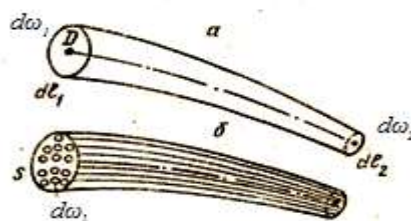
Odatda, biror voqea yoki hodisani tekshirishda uni butunligicha tekshirib bo'lmagani uchun biror soddalashtirilgan sxema qabul qilinadi va ana shu sxema tekshiriladi. Gidravlikada suyuqlik harakati qonuniyatlarining tabiatini eng yaxshi ifodalab beruvchi sxema suyuqlik oqimini elementar oqimchalardan 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 oldinma-keyin olgan holatlarini 1, 2, 3... (1.1-rasm, a) nuqtalar bilan ifodalash mumkin va bu nuqtalarda harakatdagi zarracha (1.1) va (1.2) ga asosan har xil tezlik va bosimlarga ega bo'ladi. Shu nuqtalarni o'zaro tutashtirsak, suyuqlik zarrachasiniig 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_S vektorining davomida dl_3 masofadagi D nuqtada shu nuqtaga tegishli zarracha tezligining u_D vektorini quramiz va h. k. Natijada $ABCDE$ (1.2-rasm, b) siniq chiziqni hosil qilamiz. Agar dl_1, dl_2, dl_3 larni cheksiz kichraytirib borib, nolga intiltirsak, $ABCDE$ o'rnida biror egri chiziqni olamiz. Bu egri chiziq oqim chizig'i deb ataladi



1.1-rasm. Oqim chizig'ini tushuntirishga oid chizma.



1.2- rasm. Oqim naychasi. elementar oqimcha va oqim.

Demak, suyuqlik harakatlanayotgan fazoda olingan va berilgan vaqtda har bir nuqtasida unga o'tkazilgan urinma shu nuqtaga tegishli tezlik vektori

yoʻnalishiga mos keluvchi egri chiziqli oqim chizigʻi deb ataladi. Beqaror harakat vaqtida tezlik va uning yoʻnalishi vaqt davomida oʻzgarib turgani uchun trayektoriya bilan oqim chizigʻi bir xil boʻlmaydi. Barqaror harakat vaqtida esa tezlik vektorining nuqtalardagi holati vaqt oʻtishi bilan oʻzgarmagani uchun trayektoriya bilan oqim chizigʻi ustma-ust tushadi.

Oqim naychasi va elementar oqimcha. Endi, suyuqlik harakatlanayotgan sohada, biror D nuqta olib, shu nuqta atrofida cheksiz kichik dl kontur olamiz va shu konturning har bir nuqtasidan oqim chizigʻi oʻtkazamiz. U holda oqim chiziqlari oqim naychasi, deb ataluvchi naycha hosil qiladi (1.1-rasm, a). Oqim naychasi ichida oqayotgan suyuqlik oqimi elementar oqimcha deb ataladi, Elementar oqimchalar barqaror harakat vaqtida quyidagi xususiyatlarga ega.

1. Oqim chiziqlari vaqt oʻtishi bilan oʻzgarmagani uchun ulardan tashkil topgan elementar oqimcha oʻz shaklini oʻzgartirmaydi.

2. Bir oqimchada oqayotgan suyuqlik zarrachasi boshqa yonma-yon oqimchalarga oʻta olmaydi. Shuning uchun elementar oqimchalarning yon sirti oqimcha ichidagi zarrachalar uchun ham, tashqaridagi zarrachalar uchun ham oʻtkazmas sirt boʻladi.

3. Elementar oqimcha koʻndalang kesimi cheksiz kichik boʻlgani uchun bu kesimdagi barcha nuqtalarda suyuqlik zarrachalarining tezligi oʻzgarmasdir.

Endi biror ω yuza olib, uni cheksiz koʻp $d\omega_1, d\omega_2, d\omega_3$ elementar yuzalarga ajratish mumkin (1.2-rasm, b). Shuning uchun yuzadan oqib oʻtayotgan suyuqlik oqmasi cheksiz koʻp elementar oqimchalardan tashkil topgan boʻladi va har bir elementar oqimchada suyuqlik tezligi boshqa elementar oqimchalardagidan farq qiladi.

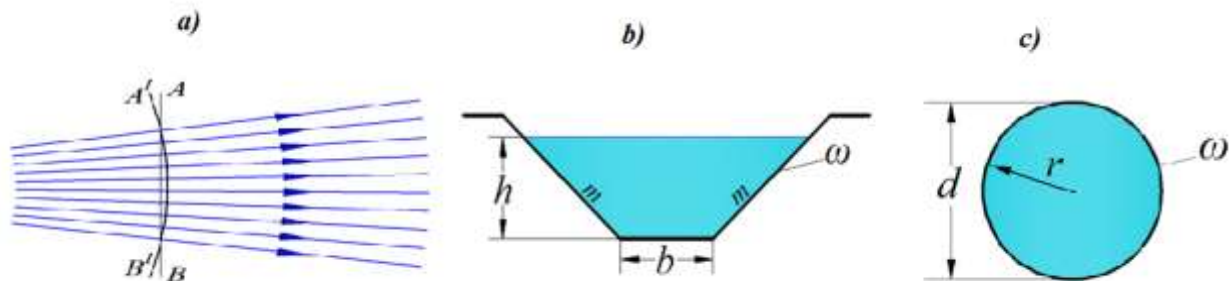
1.3. Oqimning asosiy gidravlik elementlari

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

Harakat kesimi deb shunday sirtga aytiladiki, uning har bir nuqtasida oqim chizigʻi normal boʻyicha yoʻnalgan boʻladi. Umumiy holda harakat kesimi egri sirt boʻlib (1.3- rasm a), parallel oqimchali harakatlar uchun tekislikning boʻlagidan iborat (ya'ni tekis sirt) (1.3-rasm, b, c).

Masalan, radial tarqalayotgan suyuqlik oqimi uchun harakat kesimi sferik sirt boʻlsa (1.3-rasm, a) oʻzanda va quvurda harakat qilayotgan oqimning harakati

kesimi tekis sirtidir (1.3- 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.



1.3- 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, m³/s, sm³/s larda o'lchanadi. Elementar yuza bo'yicha sarfni dq bilan, birlik yuza bo'yicha sarfni q bilan belgilanadi. 1.4-rasmدا 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 $dQ = u d\omega$ ga teng. Oqim cheksiz ko'p elementar oqimchalardan tashkil topgani uchun elementar sarflarning yig'indisi, ya'ni butun oqimning sarfi integral ko'rinishda ifodalanadi:

$$Q = \int_{\omega} u d\omega, \quad (1.3)$$

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. 1.4-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:

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{\int u d\omega}{\omega}. \quad (1.4)$$

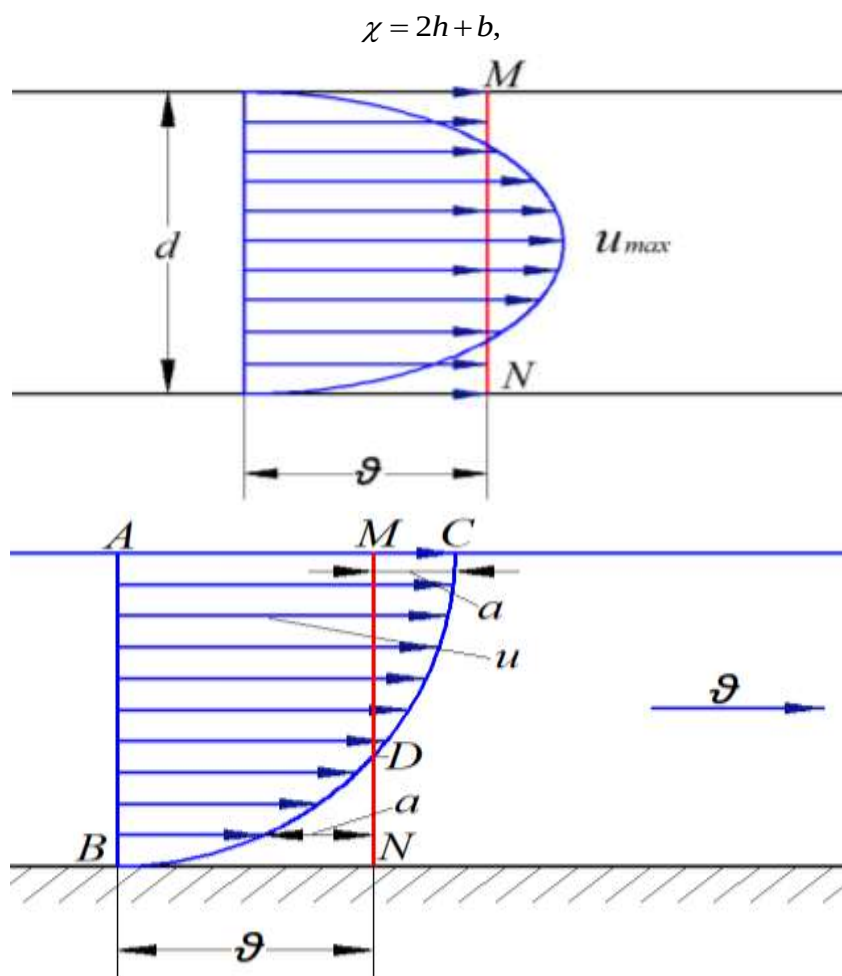
Bunda suyuqlik sarfi o`rtacha tezlik orqali quyidagicha ifodalaniladi:

$$Q = \vartheta \omega. \quad (1.5)$$

Oqma ko`ndalang kesimini (erkin sirtni hisobga olmaganda) uni chegaralovchi devorlar bilan tutashtiruvchi chiziqli 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 (1.4-rasm, a):



1.4-rasm. Suyuqlik sarfi va o`rtacha tezlikka doir chizma.

bu yerda h – suyuqlik chuqurligi; b - nov (kanal)ning kengligi: trapetsiadal nov uchun (1.4-rasm, b).

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

bu yerda $m = \text{ctg}\alpha$ – qiyalik koeffitsiyenti;

uchburchak novlar uchun (1.32-rasm, v):

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

silindrik quvurlar uchun (1.5-rasm g) suyuqlik to'lib oqqanda

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

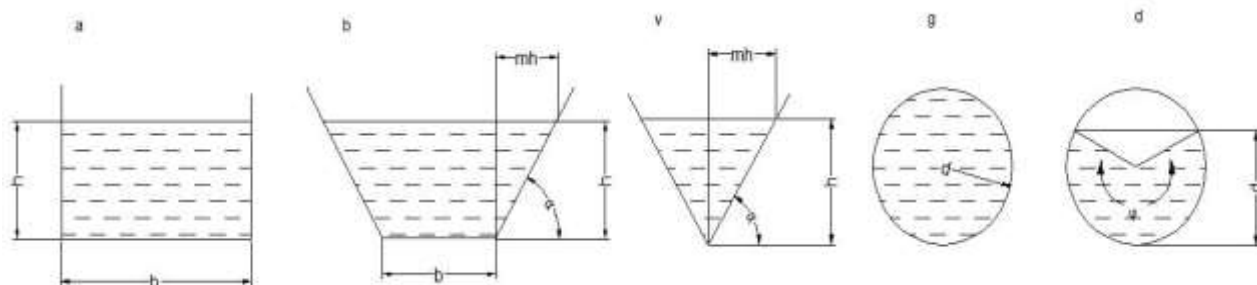
suyuqlik to'lmay oqqanda (1.5-rasm, d)

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

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

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

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (1.6)$$



1.5- rasm. Ho'llangan perimetrga doir chizma.

To'g'ri to'rtburchak novlar uchun:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{hb}{2h+b}; \quad (1.7)$$

Trapetsiadal novlar uchun

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h(mh+b)}{b+2h\sqrt{1+m^2}}. \quad (1.8)$$

Uchburchak novlar uchun

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{mh^2}{2h\sqrt{1+m^2}} = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}. \quad (1.9)$$

Silindrik quvurlar uchun:

$$\text{suyuqlik to'lib oqqanda } R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4} : \pi d = \frac{r}{2}, \quad (1.10)$$

$$\text{suyuqlik to'lmay oqqanda } R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\frac{d^2}{8} \left(\frac{\varphi\pi}{180} - \sin \varphi \right)}{\frac{\varphi\pi d}{360}} = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{180 \sin \varphi}{\varphi\pi} \right). \quad (1.11)$$

1.4. Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi

Yuqorida aytib o'tilganidek, gidravlikada suyuqliklar tutash muhitlar 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 biror zarracha mavjudligi) ning matematik ifodasi bo'lib xizmat qiladi. Suyuqlikning barqaror harakatini ko'ramiz.

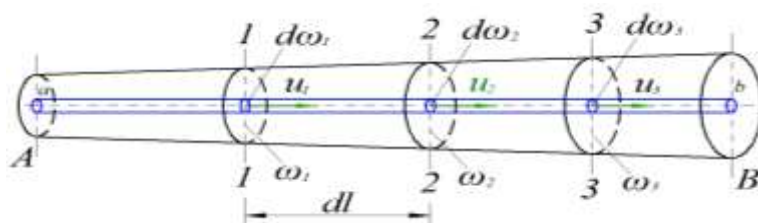
Elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasini chiqaramiz. Oqimda harakat o'qi *l-l* bo'lgan elementar oqimcha olamiz va uning 1 - 1 va 2 - 2 kesimlari orasidagi bo'lagini tekshiramiz (1.6-rasm). 1-1 kesimdagi yuza $d\omega_1$ tezlik u_1 , 2-2 kesimdagi yuza $d\omega_2$, tezlik u_2 bo'lsin va bu kesimlarda tegishli elementar sarflar $q_1 = u_1 d\omega_1$ va $q_2 = u_2 d\omega_2$ ga teng bo'lsin.

Bu holda 1-1 va 2 - 2 kesimlar orqali o'tuvchi elementar sarflar teng bo'ladi:

$$q_1 = q_2 \quad (1.12)$$

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.



1.6. 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 o`tib turishi kerak. Yuqoridagiga asosan bunday taxmin ham noto`g`ri ekanligi ko`rinadi. Shunday qilib, (1.12) tenglik to`g`ri ekanligi isbotlandi.

Elementar sarflar tengligidan quyidagi kelib chiqadi:

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 \quad (1.13)$$

1-1 va 2-2 kesimlar ixtiyoriy tanlab olinganligi uchun elementar oqimchanning xohlagan kesimi uchun elementar sarf teng bo`ladi, ya'ni

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 = u_3 d\omega_3 \dots u_n d\omega_n = \text{const}$$

(1.13) tenglama elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasi deb ataladi. Bu tenglamadan ko`rinib turibdiki, elementar oqimchanning barcha kesimlarida elementar sarf bir xildir. (1.13) 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 proportsional ekanligi kelib chiqadi.

Oqim uchun uzilmaslik tenglamasini chiqaramiz. Buning uchun elementar oqimcha uchun olingan uzilmaslik tenglamasidan foydalanamiz. Oqim sarfi cheksiz ko`p oqimchalar sarfining yig`indisidan iborat ekanligini (1.6-rasm) nazarga olib, (1.13) tenglamaning chap va ung qismini ω_1 va ω_2 yuzalar bo`yicha olingan integrallar bilan almashtiramiz

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2.$$

(1.3) tenglamaga asosan

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \mathcal{Q}_1 \omega_1; \quad \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2 = \mathcal{Q}_2 \omega_2$$

bo`ladi. Shuning uchun

$$\mathcal{G}_1\omega_1 = \mathcal{G}_2\omega_2 \quad (1.14)$$

Tanlab olingan 1–1 va 2–2 kesimlar ixtiyoriy bo'lgani uchun

$$\mathcal{G}_1\omega_1 = \mathcal{G}_2\omega_2 = \mathcal{G}_3\omega_3 = \dots = \mathcal{G}_n\omega_n = \text{const}$$

Bu oqim uchun uzilmaslik tenglamasidir. Undan ko'rinadiki, oqimning yo'nalishi bo'yicha ko'ndalang kesimlarning yuzasi va tezligi o'zgarib borishi mumkin. Lekin sarf o'zgarmaydi. (1.14) tenglamani quyidagicha ta'riflash va yozish mumkin, ya'ni *oqimning kesimlaridagi o'rtacha tezliklar tegishli kesimlarning yuzalariga teskari proportsionaldir*:

$$\frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

1.5. 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 umumiydashgan tenglama 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 (1.6-rasmga 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 Dalamber printsipidan 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:

$$\alpha_x = \frac{du_x}{dt}; \quad \alpha_y = \frac{du_y}{dt}; \quad \alpha_z = \frac{du_z}{dt} \quad (1.15)$$

Birlik massaga ta'sir etuvchi bosim kuchlarining teng ta'sir etuvchilari

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}; \quad -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}; \quad -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (1.16)$$

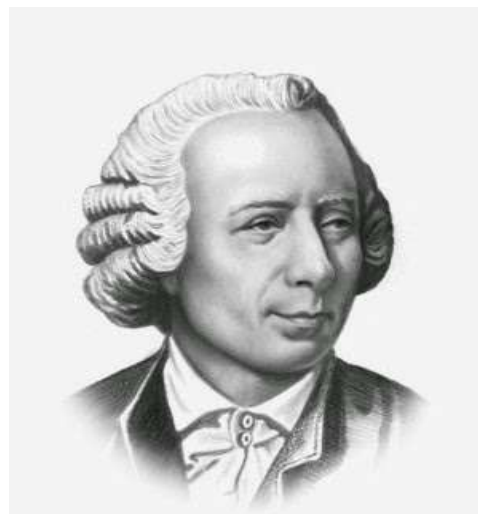
bo'ladi. Shuningdek, og'irlik kuchlari uchun x , y va z o'qlaridagi proektsiyalar

$$X, Y, Z. \quad (1.17)$$

Endi x , y va z o'qlari bo'yicha Dalamber printsipini qo'llasak quyidagi differentsial tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{du_y}{dt} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{du_z}{dt} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1.18)$$

Bu tenglamalar sistemasi ideal suyuqliklar harakatining differentsial tenglamasi deyiladi. U birinchi marta Eyler tomonidan suyuqliklar harakatini tekshirish uchun taklif qilingani uchun (1755 y) Eyler tenglamasi deb ham yuritiladi.



Леонард Эйлер
(1707-1783)

Yuqoridagi sistema uchta differentsial tenglamadan iborat bo'lib, noma'lumlar soni to'rtga: u_x , u_y , u_z , p . Matematikada ko'rsatilishicha bunday holda yana bitta tenglama kerak bo'ladi. Ana shu to'rtinchi tenglama sifatida suyuqliklar harakatining uzilmaslik tenglamasini differentsial shaklda yoziladi va u siqilmaydigan suyuqliklar uchun quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (1.19)$$

Oliy matematika kursidan ma'lumki, ixtiyoriy vektor proyeksiyalarining tegishli koordinatalar bo'yicha hosilalari yig'indisi divergentsiya deyiladi. U holda,

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = \operatorname{div} \vec{U}$$

Buni nazarga olsak, (1.19) qisqacha quyidagicha yoziladi:

$$\operatorname{div} \vec{U} = 0$$

Murakkab funktsiyaning to'liq differentsiali haqidagi qoidaga asosan

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t}, \quad (1.20)$$

lekin koordinatalardan vaqt bo'yicha hosilalar tezlik proyeksiyalarini beradi, ya'ni

$$\frac{\partial x}{\partial t} = u_x; \quad \frac{\partial y}{\partial t} = u_y; \quad \frac{\partial z}{\partial t} = u_z. \quad (1.21)$$

Buni nazarda tutgan holda (1.20) ni quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z}. \quad (1.22)$$

Shuningdek, u_y, u_z funktsiyalarining vaqt bo'yicha to'liq hosilalarini ham quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z}, \quad (1.23)$$

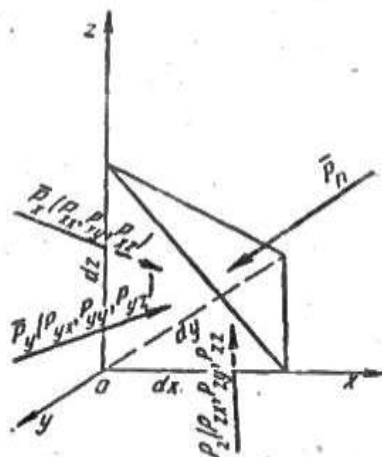
$$\frac{du_z}{dt} = \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z}. \quad (1.24)$$

(1.22), (1.23), (1.24) larni (1.18) tenglamaga qo'yib, ideal suyuqliklar differentsial tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \quad (1.25)$$

1.6. Real suyuqliklarda ichki kuchlar. Nave-Stoks tenglamasi

Real suyuqliklarda gidrodinamik bosim mavjud bo'lib, harakat yo'q bo'lgan holda u gidrostatik bosimga aylanadi. Gidrodinamik bosimning xossalari gidrostatik bosim xossalariga qaraganda umumiyroqdir. Gidrodinamik bosim suyuqlikdagi ichki kuchlarni ifodalovchi va zo'riqish kuchlari deb ataluvchi kuchlar tarkibiga kiradi. Suyuqlik ichida joylashgan biror elementar hajmni kuzatsak, 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 (1.7-rasm). U holda tetraedrning qiya sirtiga tashqaridagi suyuqlik $\bar{p}_n$ kuch bilan ta'sir qiladi. Olingan elementar hajm harakat vaqtida o'z holatini saqlashi uchun unga teng ta'sir etuvchisi $\bar{p}_n$ kuchiga teng va qarama-qarshi yo'nalgan quyidagi uchta kuch ta'sir qiladi: tetraedrning yOz tekislikda yotgan yuzasi bo'yicha $\bar{p}_x$ kuchi, xOz tekisligida yotgan yuzasi bo'yicha $\bar{p}_z$ kuchi.



1.7- rasm. Real suyuqliklarda 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 bo`ladi. Bunday xususiyatga ega bo`lgan kattaliklar tenzor deb ataladi va quyidagicha yoziladi:

$$\bar{P}_n \left\{ \begin{array}{l} p_{xx}, p_{xy}, p_{xz} \\ p_{yx}, p_{yy}, p_{yz} \\ p_{zx}, p_{zy}, p_{zz} \end{array} \right\} \quad (1.26)$$

Bu kuchlardan uchasi 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 sirtlarga urinma bo`yicha yo`nalgan bo`lib, zo`riqish tenzorining urinma tashkil etuvchilari deyiladi. Urinma tashkil etuvchilar quyidagi xossaga ega bo`ladi:

$$p_{xy} = p_{yx}; p_{xz} = p_{zx}; p_{yz} = p_{zy}$$

Shuning uchun, p tenzori simmetrik tenzor deb ataladi. Bu xossaning isboti maxsus kurslarda keltirilgan bo`lib, biz u to`g`risida to`xtalib o`tirmaymiz. Shuningdek, tenzorning komponentlarini tushuntirishlarsiz, tezlik va qovushqoqlik koeffitsiyenti orqali ifodasini keltiramiz:

$$\begin{aligned}
p_{xx} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} \\
p_{yy} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} \\
p_{zz} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} \\
p_{xy} &= p_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \\
p_{xz} &= p_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \\
p_{yz} &= p_{zy} = \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right)
\end{aligned} \tag{1.27}$$

bu yerda p – gidrodinamik bosim.

Bu yerda biz $\bar{p}_n$ 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 (1.7-rasmga q.) U holda Ox , Oy , Oz yo`nalishida og`irlik va inertsia kuchlarini hisobga olmaganimizda, uchta kuch ta'sir qiladi:

Ox bo`yicha p_{xx} , p_{yx} , p_{zx}

Oy bo`yicha p_{xy} , p_{yy} , p_{zy}

Oz bo`yicha p_{xz} , p_{yz} , p_{zz} .

Demak, parallelepipedning (1.7-rasmga q.) Ox o`qiga tik bo`lgan yon yoqlari bo`yicha ta'sir qiluvchi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi quyidagiga teng:

$$\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z}$$

Oy o`qiga tik bo`lgan yon yoqlari bo`yicha

$$\frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z}$$

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 D'alamber printsipidan foydalanib harakat tenglamasini tuzamiz. U quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$\begin{aligned}
\frac{du_x}{dt} &= X + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} \right) \\
\frac{du_y}{dt} &= Y + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z} \right) \\
\frac{du_z}{dt} &= Z + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} \right)
\end{aligned} \tag{1.28}$$

Olingan tenglamaga (1.22), (1.23), (1.24) va (1.25) munosabatlarni kiritsak, real suyuqliklarning harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) \\
\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) \\
\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right)
\end{aligned} \tag{1.29}$$

Bu hosil bo'lgan tenglamalar sistemasi siqilmaydigan suyuqliklar uchun Nave-Stoks tenglamasi deyiladi. (1.29) sistema uchta tenglamadan iborat bo'lib noma'lumlar soni to'rtta; u_x, u_y, u_z, p . Shuning uchun real suyuqliklar harakatini tekshirishda bu sistemaga (1.19) tenglamani qo'shib yechiladi.

Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

Masala. Siqilmaydigan suyuqlikning tezlik maydoni quyidagi potentsialga: $\varphi = 4(x^2 - y^2)$ ega bo'lishi mumkinmi?

Yeshimi: 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

$$\varphi = 4(x^2 - y^2); \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = 8$$

$$\varphi = 4(x^2 - y^2); \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -8$$

Bu 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, $q_3 = 0,8 \text{ m/s}$ bo'lganda, oqim sarfi, birinchi va ikkinchi kesimdagi o'rtacha tezligini aniqlang.
2. To'g'ri burchakli to'rtburchak shaklidagi ketma-ket ulangan quvurlarning gidravlik elementlarini (sarf, o'rtacha tezlik, gidravlik radius, ho'llangan perimetr) aniqlang: $h_1 = 1,0 \text{ m}$; $b_1 = 1,5 \text{ m}$; $h_2 = 1,2 \text{ m}$; $b_2 = 1,8 \text{ m}$, $q_2 = 0,5 \text{ m/s}$ 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?

1.7. Elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi

Yuqorida keltirilgan Eyler va Nave-Stoks tenglamalar sistemalarini yechish yo'li bilan suyuqlik harakatlanayotgan fazoning 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 (1.18) sistemaning 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:

$$\frac{du_x}{dt} dx + \frac{du_y}{dt} dy + \frac{du_z}{dt} dz = Xdx + Ydy + Zdz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) \quad (1.30)$$

(1.21) munosabatdan ko'rinib turibdiki,

$$dx = u_x dt; \quad dy = u_y dt; \quad dz = u_z dt$$

Shu munosabatdan foydalanib. (1.30) tenglamaning chap tomonini quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} u_x dt + \frac{\partial u_y}{\partial t} u_y dt + \frac{\partial u_z}{\partial t} u_z dt = u_x du_x + u_y du_y + u_z du_z = \frac{1}{2} d(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2) \quad (1.31)$$

lekin

$$u^2 = u_x^2 + u_y^2 + u_z^2$$

bo'lgani uchun (1.30) tenglama chap tomonining ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{2} d(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2) = \frac{1}{2} d(u^2) \quad (1.32)$$

(1.30) ning o'ng tomonidagi $Xdx + Ydy + Zdz$ biror kuch potentsialining to'liq differentsialidir. Agar shu potentsialni $F = f(x, y, d)$ bilan belgilasak, u holda quyidagiga ega bo'lamiz

$$Xdx + Ydy + Zdz = dF \quad (1.33)$$

Odatda, suyuqlikka ta'sir qiluvchi massa kuch og'irlik kuchidir. Bu holda dekart koordinatalar sistemasida quyidagicha bo'ladi:

$$F = -gz \quad (1.34)$$

(1.30) tenglamaning o'ng tomonida yana bosim bilan ifodalangan munosabat bo'lib, u bosimning to'liq differentsialini ifodalaydi, ya'ni

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = dp \quad (3.35)$$

(1.32), (1.33), (1.34) va (1.35) larni (1.30) 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 (1.8-rasmga q.) 2-2 kesimigacha integrallasak, quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gz_1 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gz_2 \quad (1.36)$$

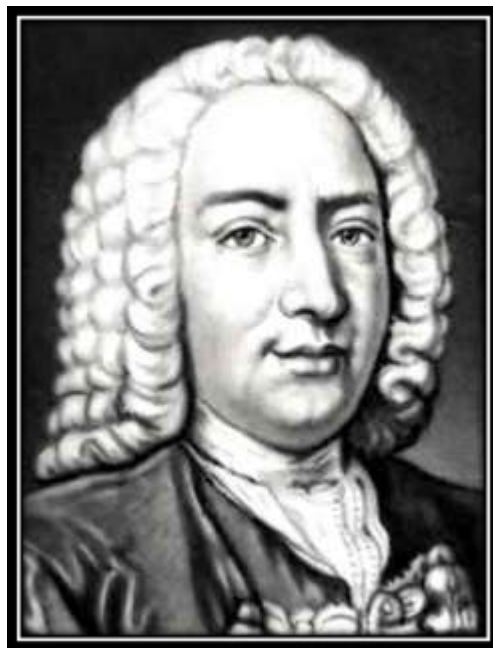
Bu tenglikdagi har bir had massa birligiga keltirilgan. Agar uni kuch birligiga keltirsak, ya'ni g ga ikki tomonini bo'lib yuborsak, u holda $\rho g = \gamma$ ni hisobga olib, quyidagini olamiz:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (1.37)$$

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 ikkita 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:

Bu (1.37) tenglama 1738 y. D.Bernulli tomonidan taklif etilgan bo'lib, uning nomi bilan ataladi va *gidrodinamikaning asosiy tenglamasi* hisoblanadi.

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{const} \quad (1.38)$$



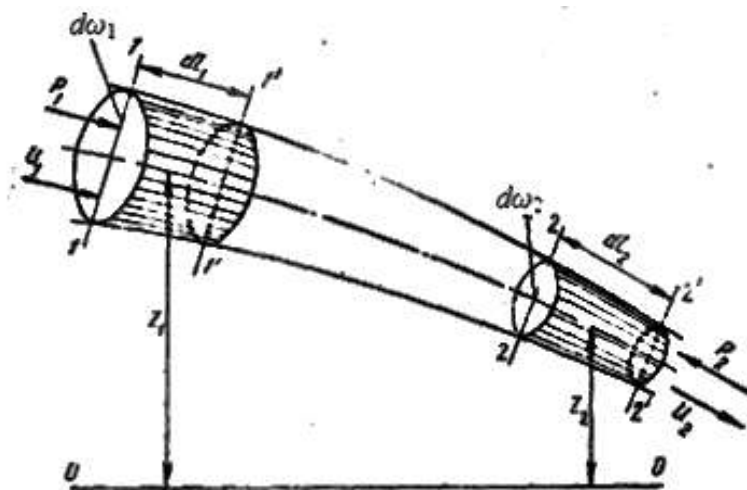
Daniil Bernulli (1700—1782)

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 energiyaning o'zgarishi qonunidan keltirib chiqargan bo'lib, biz keltirgan usul esa Eyler tomonidan qo'llanilgan.

Ikkinchi usul kinetik energiyaning 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' kesmalari orasidagi holatga keladi (1.8-rasm). 1-1 kesimning yuzasi $d\omega_1$ bu yuzaga ta'sir qiluvchi kuch P_1 va tezlik u_1 bo'lsin. 2-2 kesimning yuzasi esa $d\omega_2$, unga ta'sir qiluvchi kuch P_2 , tezlik esa u_2 bo'lsin. Kinetik energiyaning o'zgarish qonunini elementar oqimchaning 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 bajargan ishlarining yig'indisiga tengdir. Bu gapning matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$d\left(\frac{m_1 u_1^2}{2}\right) = \sum P l \quad (1.39)$$



1.8- rasm. Bernulli tenglamasini keltirib chiqarishga doir chizma.

bu yerda $d\left(\frac{mu^2}{2}\right)$ – kinetik energiyaning dt vaqtda oʻzgarishi; $\sum Pl$ – barcha kuchlar bajargan ishlarning yigʻindisi. Endi elementar oqimcha boʻlagining dt vaqt ichida 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi holatdan 1'-1' va 2'-2' kesimlar orasidagi holatga kelgandagi kinetik energiyaning oʻzgarishini koʻramiz. Harakat barqaror boʻlgani uchun bu oʻzgarish 1 - 1 va 1' - 1' orasidagi boʻlak bilan 2 - 2 va 2' - 2' orasidagi boʻlak kinetik energiyalari ayirmasiga teng.

1 - 1 va 1' - 1' orasidagi boʻlakning kinetik energiyasi (uning massasi m_1 boʻlsa) $\frac{m_1 u_1^2}{2}$ ga teng boʻladi. 2-2 va 2'-2' orasidagi boʻlakning kinetik energiyasi esa $\frac{m_2 u_2^2}{2}$ ga teng. Demak koʻrilayotgan 1 - 1 va 2 - 2 orasidagi boʻlakning kinetik energiyasi dt vaqtda quyidagi miqdorga oʻzgarar ekan:

$$\frac{m_2 u_2^2}{2} - \frac{m_1 u_1^2}{2} \quad (1.40)$$

Ikkinchi tomondan, 1 -1 va 1' - 1' orasidagi boʻlakning massasi uning hajmi $dS_1 dl_1$ ning zichlikka koʻpaytmasiga teng, ya'ni

$$m_1 = \rho d\omega_1 dl_1.$$

Shuningdek, 2-2 va 2' - 2' orasidagi boʻlakning massasi

$$m_2 = \rho d\omega_2 dl_2.$$

dl_1 va dl_2 – dt vaqt ichida 1 -1 va 2 - 2 kesimlarining yurgan yoʻlini koʻrsatadi, shuning uchun

$$dl_1 = u_1 dt, \quad dl_2 = u_2 dt \quad (1.41)$$

u holda m_1 va m_2 uchun quyidagi munosabatni olamiz;

$$m_1 = \rho d\omega_1 u_1 dt, \quad m_2 = \rho d\omega_2 u_2 dt$$

Bu munosabatni (1.40) ga qo`ysak va uzilmaslik tenglamasidan  $q = u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2$  ekanligini nazarga olsak, kinetik energiyaning o`zgarishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{m_2 u_2}{2} - \frac{m_1 u_1}{2} = \rho \frac{q dt u_2^2}{2} - \rho \frac{q dt u_1^2}{2} = \rho q dt \left(\frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} \right). \quad (1.42)$$

Endi, bajarilgan ishlarni tekshiramiz. Ular 1-1 va 2-2 kesimlarga ta'sir qiluvchi gidrodinamik kuchlarning va og`irlik kuchining bajargan ishlaridir. Elementar oqimchaning yon sirtlariga ta'sir qiluvchi bosim kuchining bajargan ishi esa nolga teng ekanligi harakatning barqarorligidan ko`rinadi.

1-1 kesimga ta'sir etuvchi p_1 bosimning bajargan ishini A_1 2-2 kesimga ta'sir etuvchi p_2 bosimning bajargan ishini A_2 bilan belgilaymiz. U holda, 1.35- rasmdan ko`rinib turibdiki,

$$\begin{aligned} A_1 &= p_1 d\omega_1 dl_1 \\ A_2 &= p_2 d\omega_2 dl_2 \end{aligned}$$

(1.41) nazarga olsak va uzilmaslik tenglamasidan foydalansak, quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$A_1 = p_1 q dt; \quad A_2 = p_2 q dt \quad (1.43)$$

Og`irlik kuchi bajargan ishni  $A_3$  deb belgilaymiz. Bu ish (1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi bo`lak o`z holatini saqlagani 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

$$G = \gamma d\omega_1 dl_1 = \gamma d\omega_1 u_1 dt = \gamma q dt$$

bo`lgani uchun

$$A_3 = \gamma q dt (z_1 - z_2). \quad (1.44)$$

Endi, (3.42), (3.43) va (3.44) larni (3.39) ga qo`ysak, elementar oqimcha uchun kinetik energiyaning o`zgarish qonunini olamiz

$$\rho q dt \left(\frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} \right) = p_1 q dt - p_2 q dt + \gamma q dt (z_1 - z_2)$$

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  $\gamma q dt$  ga bo`lsak:

$$\frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + z_1 - z_2.$$

Bir xil indeksli hadlarni gruppalamiz joylashtirsak, Bernulli tenglamasi hosil bo`ladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2. \quad (1.45)$$

Shunday qilib, elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi kinetik energiyaning o'zgarish qonunini ifodalay ekan.

1.8. Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari

Bernulli tenglamasining har bir hadi 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 (1.9-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.

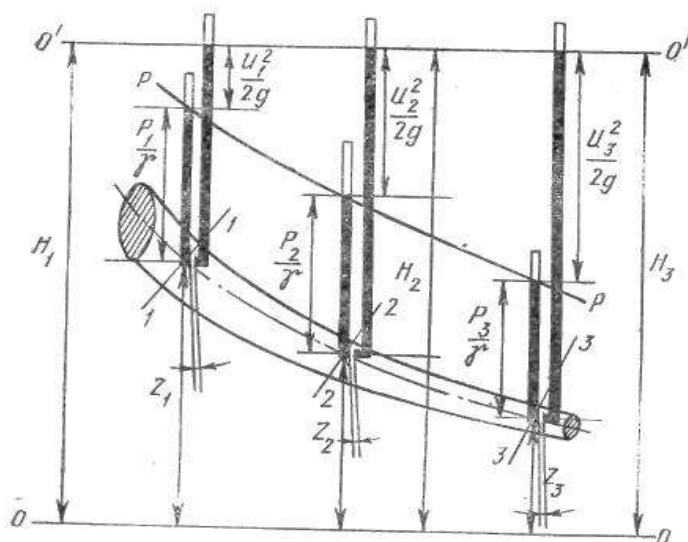
Uchi egilgan shisha naychalarda suyuqlik pezometrlardagiga qaraganda balandroqqa ko'tariladi. Buning sababi shundaki, uchi egilgan shisha naylarda uning egilgan uchi suyuqlik harakati yo'nalishida bo'lib, gidrodinamik bosimga qo'shimcha suyuqlik tezligiga bog'liq bo'lgan, bosim paydo bo'ladi. Bunda suyuqlik zarrachalarining inertiya 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 farqi larga teng bo'ladi va tezlik nabori (balandligi) deyiladi.

$$h_1' - h_1 = \frac{u_1^2}{2g}; \quad h_2' - h_2 = \frac{u_2^2}{2g}; \quad h_3' - h_3 = \frac{u_3^2}{2g}$$

Shunday qilib, geometrik nuqtai nazardan Bernulli tenglamasining hadlari quyidagicha ataladi:



1.9-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 (taqqoslash 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 (nabori) balandligi, pezometrik va geometrik balandliklarining umumiy yig'indisi o'zgaras miqdor bo'lib, u 1.9-rasmda 0'-0' shizig'i bilan belgilanadi va suyuqlikning napor (dam) tekisligi deb ataladi.

Gidrodinamikada bu uchta balandliklar $\frac{u^2}{2g}, \frac{p}{\gamma}, z$ ning yig'indisi suyuqlikning to'liq nabori (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 (1.45) ning chap tomoni elementar oqimchanning 1-1 kesimidagi to'liq solishtirma

energiya bo'lib, u 2-2 kesimdagi to'liq solishtirma energiyaga teng yoki umuman o'zgaras miqdordir.

Bu yerda *solishtirma energiya* deb og'irlik birligiga to'g'ri kelgan energiya miqdoriga aytamiz. Bu aytilganlarga asosan Bernulli tenglamasi hadlarining energetik yoki fizik ma'nosi quyidagicha bo'ladi:

$\frac{u_1^2}{2g}, \frac{u_2^2}{2g}, \frac{u_3^2}{2g}$ – elementar oqimchaning 1-1, 2-2, 3-3 kesimlarga tegishli solishtirma

kinetik energiyasi;

$\frac{p_1}{\gamma} + z_1, \frac{p_2}{\gamma} + z_2, \frac{p_3}{\gamma} + z_3$ – elementar oqimcha kesimlari uchun solishtirma potentsial

energiya;

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}, \frac{p_3}{\gamma}$ – 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 sharhlash mumkin: ikkita kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi (1.45) shu ikki kesimda tegishli hadlarining ayirmalaridan tashkil topadi:

$\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g}$ – kinetik energiyaning birlik og'irlik uchun o'zgarishi;

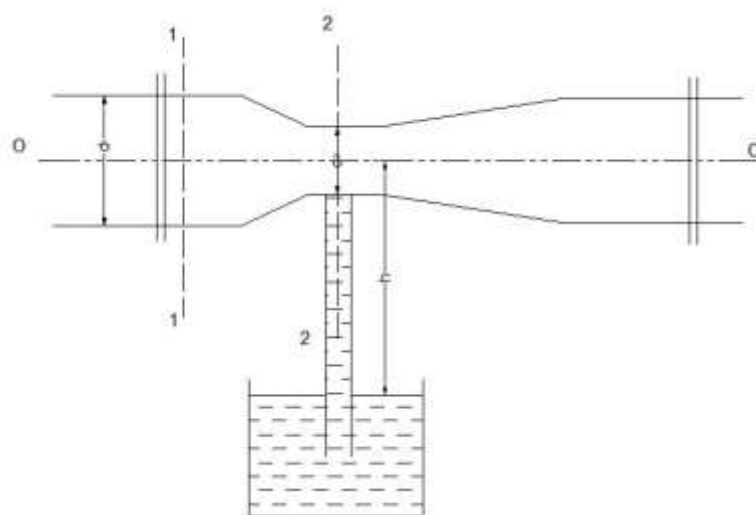
$\frac{p_1 - p_2}{\gamma}$ – bosim kuchi bajargan ishning birlik og'irlikka tegishli qismi.

$z_1 - z_2$ – og'irlik kuchi bajargan ishning birlik og'irlikka tegishli qismi.

Demak, suyuqlik harakat qilayotganda solishtirma kinetik va solishtirma potentsial energiyalar harakat davomida o'zgarib boradi, lekin to'liq solishtirma energiya o'zgaras 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 kesimdagi bosim $P_M = 40$ kPa, suv tezligi $g_1 = 1,12$ m/s bo'lsa, kameradagi quvur diametrini d_2 aniqlang. Suv ideal deb qaralsin.(1.10-rasm).



1.10-rasm.

Yeshimi: 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:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V^2}} = 0,05 \text{ m}$$

Mustaqil yechishga doir masalalar:

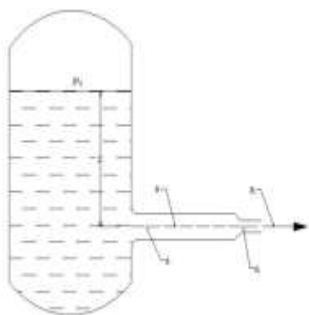
1. Rezervuardan suv diametri $d = 30 \text{ mm}$ bo'lgan quvur orqali atmosferaga oqib chiqmoqda, agar rezervuardagi manometrik bosim $P_M = 0,2 \text{ atmosfera}$ bo'lib, dam (napor)i $H = 1,5$ bo'lsa, quvurdagi suv sarfini aniqlang (1.11-rasm).

2. Suyuqlik ketma-ket ulangan har xil diametrli quvurlar orqali atmosferaga chiqmoqda. Agar ikkinchi quvurdagi tezlik $\vartheta_2 = 0,8 \text{ m/s}$ bo'lsa, birinchi quvurdagi tezlik $\vartheta_1 = 2 \text{ m/s}$ bo'lishi uchun, birinchi quvurdagi bosim qanday bo'lishi kerak (1.12-rasm).

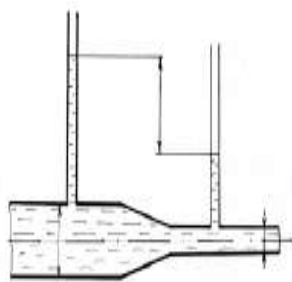
3. Quvurdagi suv sarfini aniqlash uchun Venturi naychasidan foydalaniladi.

Agar quvurga o'rnatilgan pezometrlar farqi $h = 16 \text{ sm}$ bo'lib, quvur diametri $D = 20 \text{ sm}$, naychani diametri $d = 14 \text{ sm}$ bo'lganda quvurdan o'tayotgan sarfni aniqlang (1.13-rasm).

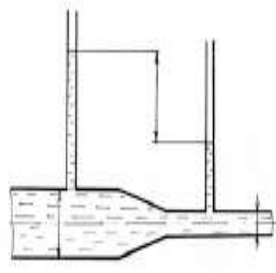
4. Agar naychani diametri $d = 5 \text{ sm}$, quvurning diametri $D = 100 \text{ mm}$ va quvurdagi bosim $P_1 = 0,4 \text{ at}$ bo'lsa, naychaga ulangan quvurda suv qaysi balandlikka ko'tariladi? (1.14-rasm)



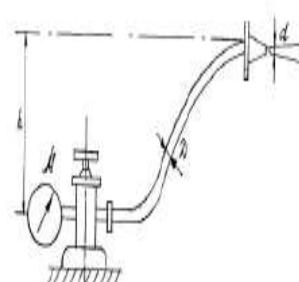
1.11-rasm.



1.12-rasm.



3.13-rasm.



3.14-rasm

1.9. Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi

Endi real suyuqlik elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasining grafigini 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 balandliklarini tutashtirib, pezometrik chiziq ($P-P$) ni hosil qilamiz. Uchi egik naychalarda suyuqlik balandliklarini tutashtirib, suyuqlik bosimi (dami) shizig'i ($H-H$) ni hosil qilamiz. Qurilgan grafikni ideal suyuqlik elementar oqimchasi uchun olingan grafik (1.15-rasm) bilan solishtiramiz. Natijada ideal suyuqliklar uchun oqimchani 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. 1.15-rasmga muvofiq bu tengsizlik quyidagicha ifodalanadi:

$$H_1 > H_2 > H_3$$

Demak, real suyuqlikning elementar oqimchasi harakat qilganda solishtirma energiyaning ma'lum bir qismi yo'qotilar 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

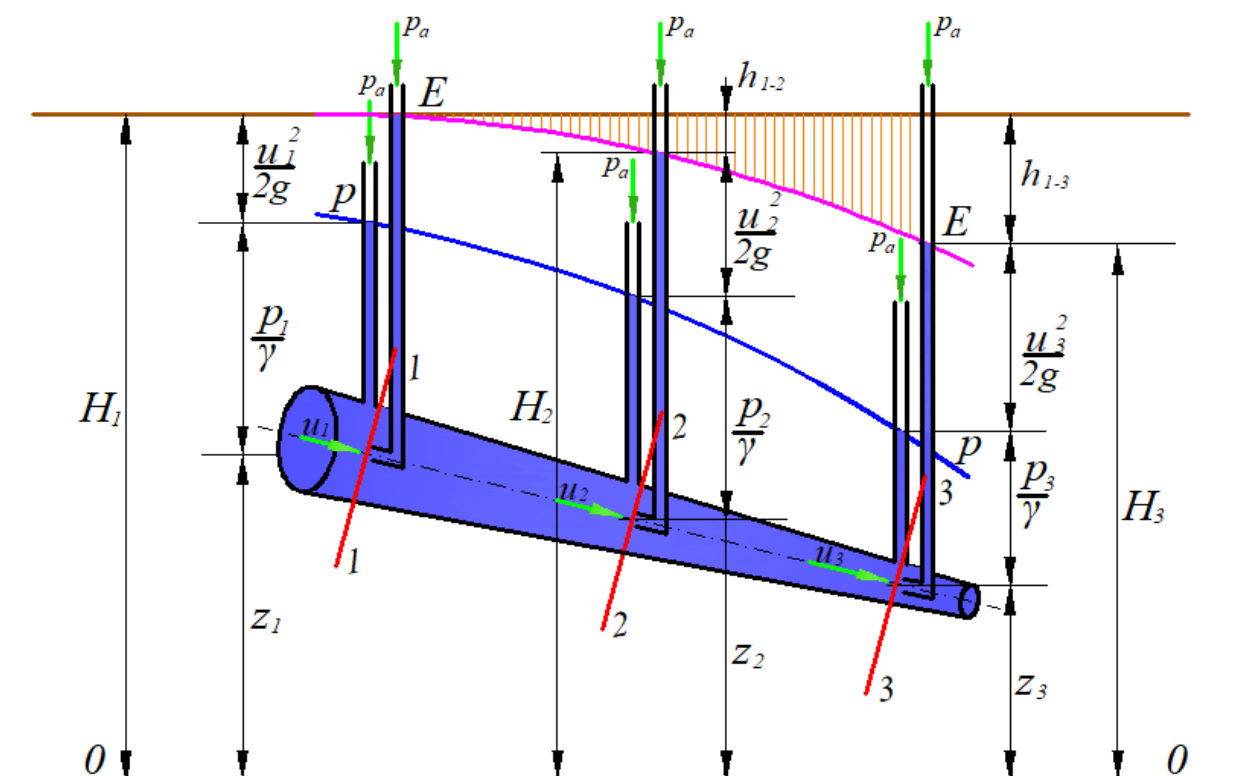
$$H_1 = \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1; \quad H_2 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2,$$

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:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{1-2}. \quad (1.46)$$



1.15-rasm. Real suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasining geometrik manosi.

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.

1.10. 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:

$$\int_{\omega_1} \frac{u_1^2}{2g} d\omega + \int_{\omega_1} \frac{p_1}{\gamma} d\omega + \int_{\omega_1} z_1 d\omega = \int_{\omega_2} \frac{u_2^2}{2g} d\omega + \int_{\omega_2} \frac{p_2}{\gamma} d\omega + \int_{\omega_2} z_2 d\omega + \int_{\omega_2} h_{1-2} d\omega. \quad (1.47)$$

Oqimning har bir elementar oqimchasida tezlikni hisoblash qiyin bo'lgani uchun (1.47) tenglamadagi integrallarni hisoblash ham juda qiyinlashadi. Shuni nazarga olib, oqim uchun Bernulli tenglamasida tezliklarni o'rtacha tezlik ϑ bilan almashtiriladi. 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 aylanadi. Elementar oqimchaning 1-1 va 2-2 kesimlarida bosimning kamayishi bo'yicha integral ham oqim uchun bosimning o'rtacha kamayish miqdoriga aylanadi. Solishtirma kinetik energiyaning integralini tezlikning o'rtacha qiymati bo'yicha kinetik energiya bilan almashtirsak, uning miqdori kamayib qoladi. Integral cheksiz ko'p miqdorlarning yig'indisi bo'lgani uchun buni yig'indilar kvadratlarining 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:

$$\vartheta = \frac{u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5}{5} = 10 \text{ m/s},$$

tezliklar kvadratlarining 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'rta tezlikning kvadrati esa $v^2 = 100 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Bundan ko'rinib turibdiki, tezliklar kvadratlarining yig'indisi o'rtacha tezlik kvadratidan katta ekan. Shunday qilib, quyidagi tengsizlik to'g'ri ekanligini ko'rish mumkin:

$$\int_{\omega} \frac{u^2}{2g} d\omega > \frac{u^2}{2g} \omega.$$

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'lmasligini ifodalaydi va Koriolis koeffitsiyenti deb ataladi. U holda

$$\alpha = \frac{\int \frac{u^2}{2g} d\omega}{\frac{v^2}{2g} \omega}.$$

Shunday qilib, yuqorida aytilganlarga asosan (1.47) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + H_{1-2}, \quad (1.48)$$

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.

1.11. Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi

Odatda, harakat yo'nalishi bo'yicha bosim kamayib boradi. Suyuqliklarda hajmiy siqilish koeffitsiyenti β_p juda kichik bo'lgani uchun bu o'zgarish suyuqlikning fizik xossalariga ta'sir qilmaydi. Lekin gazlarda bosimning ozgina 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 xossalariga, 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 (1.16-rasm) orasidagi masofani cheksiz kichik Δl deb olamiz. U holda Bernulli tenglamasi differentsial ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$d\left(\frac{g^2}{2g}\right) + \frac{dp}{\gamma} + dz - dh_{1-2} = 0 \quad (1.49)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} d\left(\frac{g^2}{2g}\right) &= \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \left(\frac{g_1^2 - g_2^2}{2g}\right), \\ d\left(\frac{p}{\gamma}\right) &= \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma}\right), \\ dz &= \lim_{\Delta l \rightarrow 0} (z_1 - z_2). \end{aligned}$$

Endi (1.49) tenglamadan integral olamiz. U holda (1.49) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\int d\left(\frac{g^2}{2g}\right) + \int d\frac{p}{\gamma} + \int dz - \int dh_{1-2} = const \quad (1.50)$$

Bu tenglikda birinchi, uchinchi va to'rtinchi integrallarni hisoblash oson:

$$\int d\left(\frac{g^2}{2g}\right) = \frac{g^2}{2g}; \quad \int dz = z; \quad \int dh_{1-2} = h_{1-2}.$$

Uchinchi integralni hisoblashda solishtirma og'irlik bosimga bog'liq ekanligini nazarga olish kerak bo'ladi. Jarayonni politropik deb qarash, u holda

$$\frac{p}{\gamma^n} = \frac{p_0}{\gamma_0^n}$$

bo'ladi. Bu tenglikdan

$$\gamma = p^{\frac{1}{n}} \frac{\gamma_0}{p_0^{\frac{1}{n}}}, \quad (1.51)$$

bu yerda n - politropiya ko'rsatkichi; γ_0 - boshlang'ich holatdagi solishtirma og'irlik; p_0 - boshlang'ich holatdagi bosim. Oxirgi munosabatdan foydalanib va γ_0 , p_0 o'zgarish ekanligini hisobga olib, ikkinchi integralni quyidagicha hisoblaymiz:

$$\int \frac{dp}{\gamma} = \int \frac{p_0^n}{\gamma_0^n} = \frac{p_0^n}{\gamma_0^n} \int \frac{dp}{p^n} = \frac{p_0^n}{\gamma_0^n} \frac{p^{1-\frac{1}{n}}}{1-\frac{1}{n}}.$$

(1.51) dan yana bir marta foydalansak, quyidagini olamiz:

$$\int \frac{dp}{\gamma} = \frac{p^n}{\gamma} \frac{p^{1-\frac{1}{n}}}{1-\frac{1}{n}}.$$

Natijada (1.40) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{g^2}{2g} + \frac{n}{n-1} \frac{p}{\gamma} + z - h_n = const \quad (1.52)$$

Tenglamani ikkita kesim uchun yozamiz:

$$\frac{g_1^2}{2g} + \frac{n}{n-1} \frac{p_1}{\gamma_1} + z_1 = \frac{g_2^2}{2g} + \frac{n}{n-1} \frac{p_2}{\gamma_2} + z_2 + h_{1-2}. \quad (1.53)$$

Bu tenglama real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasidir. Suyuqlik uchun Bernulli tenglamasi uchta qiymat ϑ , p , z ni bog'lagan bo'lsa, bu tenglama to'rtta qiymat ϑ , p , z , γ ni bog'laydi. Shuning uchun gazlar harakati tekshirilganda Bernulli tenglamasi (1.21) bilan birgalikda foydalaniladi.

1.12. Gidravlik va pezometrik qiyaliklar haqida tushuncha

Gidravlikada hisoblash ishlarini bajarishda gidravlik I va pezometrik l_p qiyaliklardan foydalaniladi.

Bosim chizig'ining uzunlik birligiga to'g'ri kelgan pasayishi gidravlik qiyalik deb ataladi.

1.38-rasmda oqim uchun bosim va pezometrik chiziqlar keltirilgan. Bu chiziqlar umumiy holda egri chiziq bo'lib, rasmda 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:

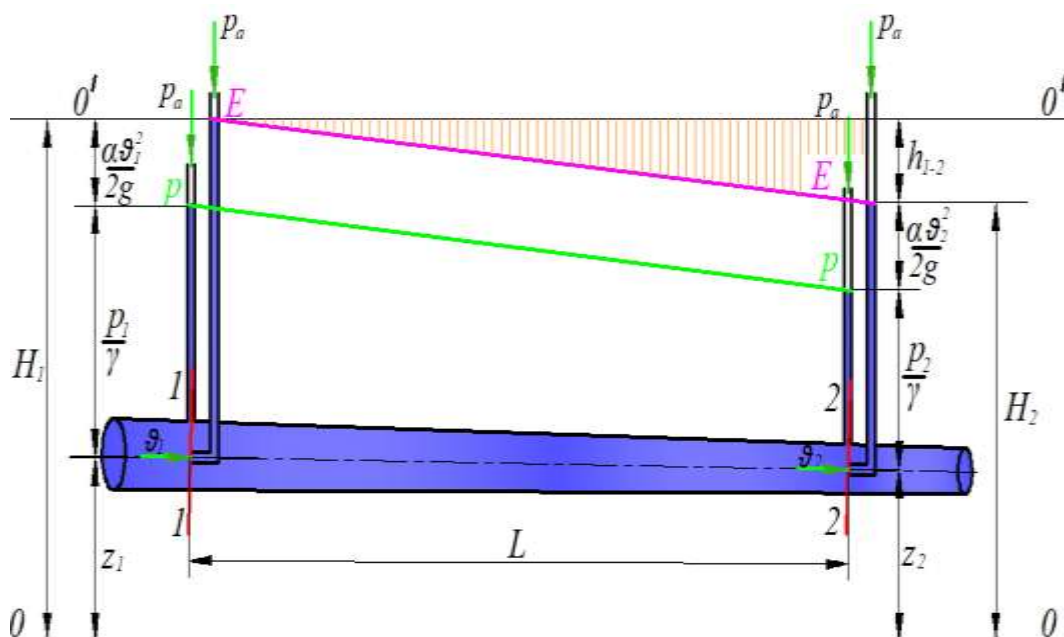
$$I_{1-2} = \frac{\left(\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{l_{1-2}} = \frac{H_{1-2}}{l_{1-2}} \quad (1.54)$$

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 differentsial ko'rinishda yoziladi:

$$I = \frac{dH}{dl} = - \frac{d\left(\frac{\alpha v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z\right)}{dl}.$$

Pezometrik chiziqning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan pasayishi pezometrik qiyalik deb ataladi. Birinchi va ikkinchi kesim orasidagi (1.15-rasm) o'rtacha pezometrik qiyalik quyidagicha aniqlanadi:



1.16-rasm Gidravlik va pezometrik nishabliklar.

$$I_{p_{1-2}} = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{l_{1-2}}. \quad (1.55)$$

Pezometrik qiyalik l_p pezometrik chiziq egri chiziq bo'lganda differentsial ko'rinishda aniqlanadi:

$$l_p = -\frac{d\left(\frac{p}{\gamma} + z\right)}{dl}.$$

Tekis harakat vaqtida tezlik o'zgarmaganligi ($\vartheta_1 = \vartheta_2$) uchun gidravlik va pezometrik qiyaliklar teng bo'ladi.

1.13. Gidravlik yo'qotish haqida tushuncha. Gidravlik yo'qotishning turlari

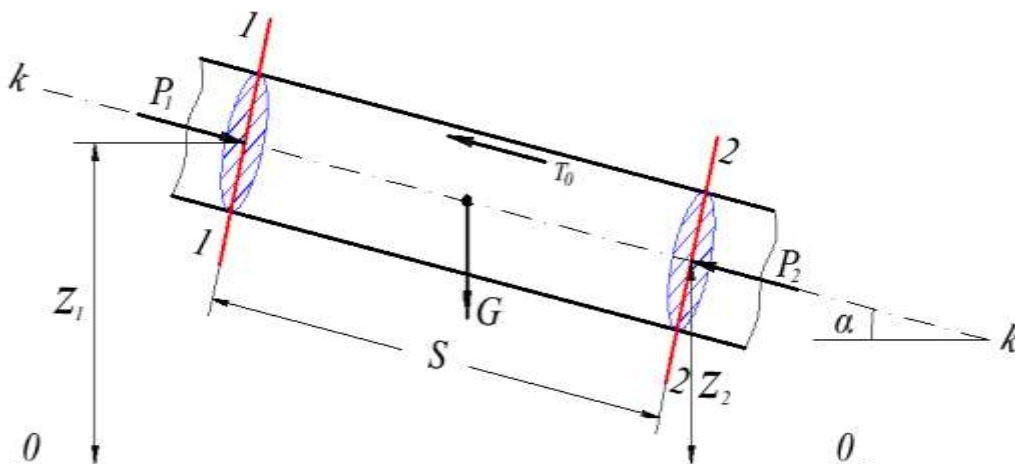
Real suyuqliklarda ikki kesim orasida energiya yo'qotilishini H_{1-2} bilan belgiladik. Bu yo'qotish suyuqliklardagi qovushqoqlik kuchi hisobiga bo'ladi, ya'ni u shu kuchni yengishga sarf bo'ladi.

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 tezliklari ham teng bo'ladi (1.17-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) $G = \gamma\omega_1$ - 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:

$$P_1 - P_2 + G \sin \alpha - T = 0.$$



1.17- rasm. Gidravlik yo'qotish tushunchasiga doir.

$\sin \alpha = \frac{z_1 - z_2}{l}$ ekanligini hisobga olsak, yuqoridagi tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$p_1 \omega - p_2 \omega + \gamma \omega l \frac{z_1 - z_2}{l} + \tau \pi D l = 0$$

Bundan tekis harakat uchun Bernulli tenglamasi kelib chiqadi:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{\tau}{\gamma} \frac{\pi D l}{\omega}.$$

Bu tenglamani (1.48) tenglama bilan solishtirsak va uni tekis harakat ($v_1 = v_2$) uchun qo'llasak, gidravlik yo'qotish uchun quyidagi munosabatni olamiz:

$$h_{1-2} = \frac{\tau}{\gamma} \frac{\pi D l}{\omega} \quad (1.56)$$

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 (1.56) 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'zgargan joylari (tirsaklar, to'siqlar, keskin kengayishlar, 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

$$H_n = H_l + H_m \quad (1.57)$$

bu yerda H_l – 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.

1.14. 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 sekundomer 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 (1.4) formula bilan aniqlanadi.

2. Og'irlik usulida biror idishga oqimdan suyuqlik tushiriladi. Tarozi 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 sarflarni o'lchash uchun qo'llaniladi. Katta sarflarni o'lchash uchun esa juda katta o'lchov idishlari kerak bo'ladi. Ikkinchidan, quvur va kanallarda sarfni yuqoridagi usul bilan o'lchaganda oqimning tuzilishi o'zgaradi va o'lchash natijasi katta xatolar bilan chiqadi. Shuning uchun ko'pincha quvurlar va kanallardagi sarf boshqa usullar bilan o'lchanadi.

3. Venturi suv o'lchagichi maxsus quvurdan suv o'tishiga asoslangan bo'lib, tuzilishi sodda va harakatlanuvchi qismlari yo'qdir (1.18-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'lagi (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- kesimlariga Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{g_2^2}{2} + \frac{p_2}{\gamma},$$

bundan

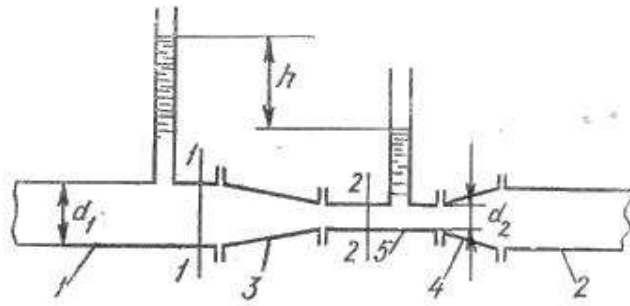
$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g}$$

lekin $\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h$ bo'lgani uchun

$$h = \frac{g_2^2}{2g} - \frac{g_1^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasi (1.14) ga asosan

$$g_1 = g_2 \frac{\omega_2}{\omega_1},$$



118- rasm. Venturi suv o`lchagichi

u holda

$$h = \frac{g_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right].$$

bundan 2-2 kesimdagi tezlikni topamiz:

$$g_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}} \quad (1.58)$$

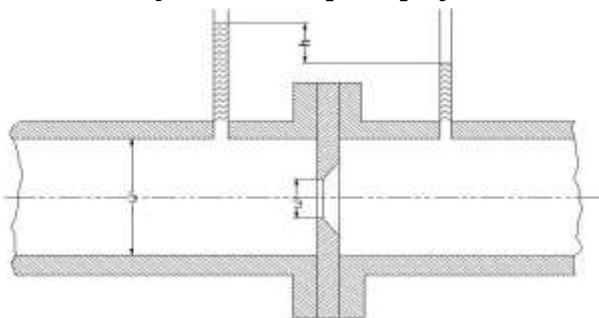
U holda suyuqlik sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = g_2 \omega_2 = \omega_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}}. \quad (1.59)$$

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 qo`yiladi.



1.19- rasm Suv o`lchagich shayba.

Hisoblash ishlarida sarf, odatda, quyidagi soddalashtirilgan formula bilan hisoblanadi:

$$Q = c\sqrt{h}, \quad (1.60)$$

bu yerda

$$c = m\omega_2 \sqrt{\frac{2g}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}$$

koeffitsiyent *suv o`lshagich doimiysi* 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 (1.19- rasm) uning ichki aylanma teshigining chekkalari  $45^\circ$  burchak ostida qiyalangan yoki oqib o`tuvchi oqimcha shaklida silliqlashgan (soplo ko`rinishda) bo`ladi. Halqaning ikki tomoniga ikki pezometr yoki differentsial manometr o`rnatilgan bo`lib, ular diafragmaning ikki tomonidagi bosimlar farqini aniqlashga yordam beradi.

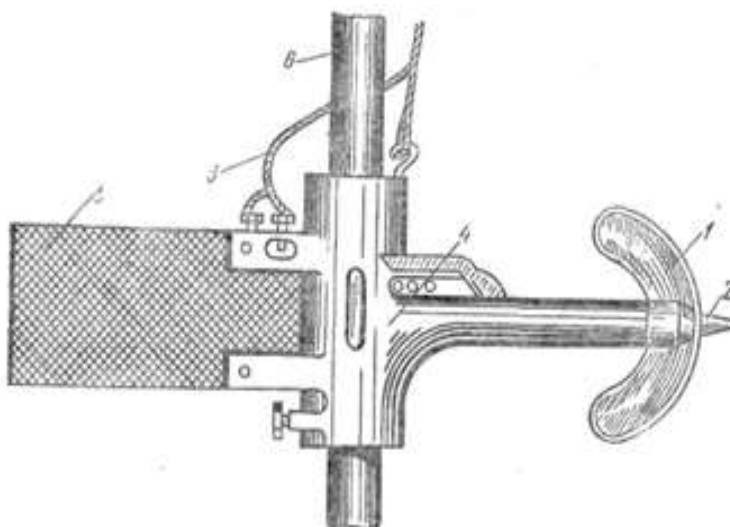
Sarf pezometrlardagi suyuqlik sathlarining farqi orqali, quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q = c_1\sqrt{h}. \quad (1.61)$$

s_1 koeffitsiyent har bir diafragma uchun tajriba asosida aniqlanadi.

5. Vertushka (pirildoq) va 1 2 ga o`rnatilgan aylanma kurakchalar 1 ga ega bo`lgan g`ildirak bo`lib, asosiy korpusga mahkamlanadi (1.20-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 aylanganda elektr zanjirini tutashtiradi va qo`ng`iroq jiringlaydi yoki maxsus schyotchik aylanish sonini avtomatik hisoblaydi. Suvga tushirilgan vertushkalarning kurakchalari suvning tezligiga qarab sekinroq yoki tezroq aylanadi. Shuning uchun suyuqlikning tezligi schyotchikning ko`rsatkichi 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 (1.20-rasm). Bu yuzalarning geometrik markazlarida tezliklarni vertushka yordamida o`lchab, ularni yuzalarga ko`paytirsak, har bir kesim bo`yicha sarf kelib chiqadi:

$$q_1 = \Delta\omega_1\mathcal{Q}_1; \quad q_2 = \Delta\omega_2\mathcal{Q}_2; \quad \dots \dots \dots q_n = \Delta\omega_n\mathcal{Q}_n$$



1.20- rasm. Pirildoq

Kanalda oqayotgan suyuqlik sarfi bu sarflarning yig`indisiga tengdir;

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i - \Delta\omega_1\vartheta_1 + \Delta\omega_2\vartheta_2 + \Delta\omega_3\vartheta_3 + \dots + \Delta\omega_n\vartheta_n \quad (1.62)$$

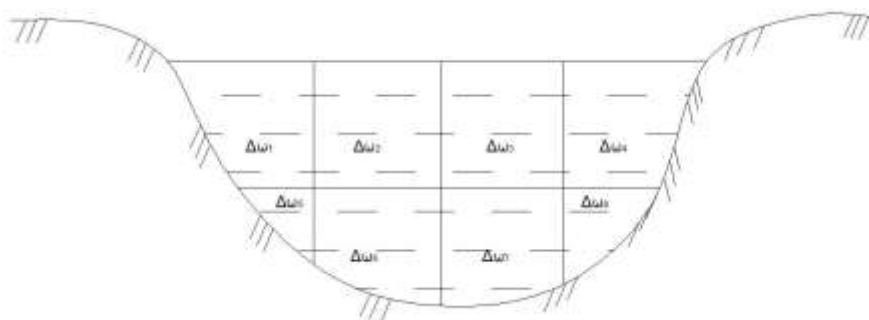
Bu usul gidrometrik o`lchashlarda eng ko`p qo`llaniladigan usuldir.

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. (1.21-rasm a). Bu holda ozod sirtida va naychadagi suyuqlik sathida bosim atmosfera bosimiga teng. Shuning uchun naychadagi suyuqlikning balandligi h oqimning tezlik bosimini beradi, ya'ni

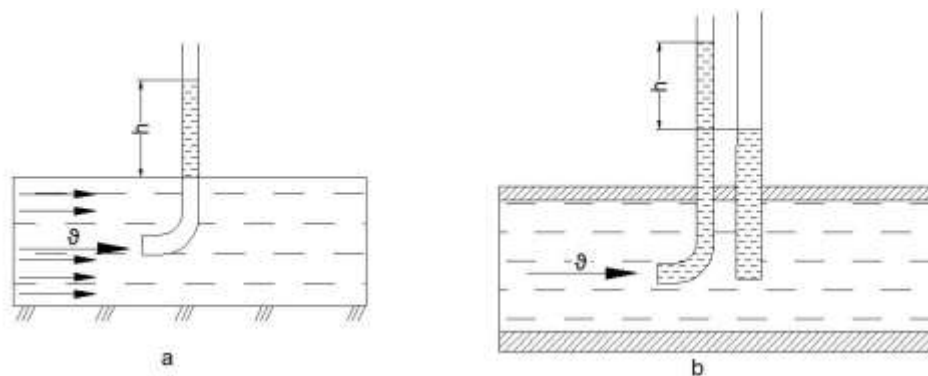
$$h = \frac{\vartheta^2}{2g}$$

Bundan tezlikni topish formulasi kelib chiqadi:

$$\vartheta = \sqrt{2gh} \quad (1.63)$$



1.21-rasm. Kanallarning kesimini elementar yuzalarga bo`lish.



1.22- 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:

$$g = \alpha \sqrt{2gh} \quad (1.64)$$

bu yerda α – koeffitsiyent; u har bir naycha uchun tajriba yo`li bilan aniqlab qo`yiladi.

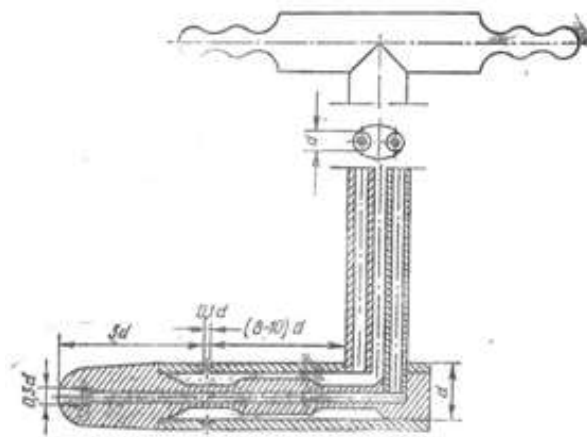
Pito naychasi ochiq sirtli oqimlarda tezlikni o`lchach uchun qo`llaniladi.

Prandtl naychasi Pito naychasining qulaylashtirilgani bo`lib, u quvurlardagi tezliklarni o`lchash uchun qo`llaniladi (1.22-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 $\frac{p}{\gamma} + \frac{g^2}{2g}$ ni beradi. Shuning uchun bu ikki naychadagi balandliklar farqi tezlik bosimini beradi va uning yordamida tezlik topiladi:

$$g = \alpha \sqrt{2gh} \quad (1.65)$$

Hozirgi mavjud asboblarda bu ikkita naycha bitta katta naycha ichiga joylashtirilgan (1.22-rasm) bo`lib, ularning uchlari mikromanometr yoki differentsial manometrlarga tutashtirilgan. Agar manometrlardagi suyuqlik oqayotgan suyuqlikdan farq qilsa, Prandtl naychasining uchi tushirilgan nuqtadagi tezlik quyidagi formula bilan topiladi:

$$g = \alpha \sqrt{2gh \left(\frac{\gamma_1}{\gamma} - 1 \right)} \quad (1.66)$$



1.23- rasm. Prandtl naychasi

bu yerda h – difmanometr naychalaridagi sathlar farqi; γ_1 va γ – difmanometrda va tekshirilayotgan (oqayotgan) suyuqliklar solishtirma og'irliklari; a – 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.

I 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. Gidravlik yo'qotishning turlari.
5. Tezlik va sarf o'lchash usullari
6. Pito naychasi.

II BOB. SUYUQLIK HARAKATINING TARTIBLARI VA GIDRODINAMIK O`XSHASHLIK 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.

2.1. Suyuqlik harakatining ikki tartibi. Reynolds kritik soni

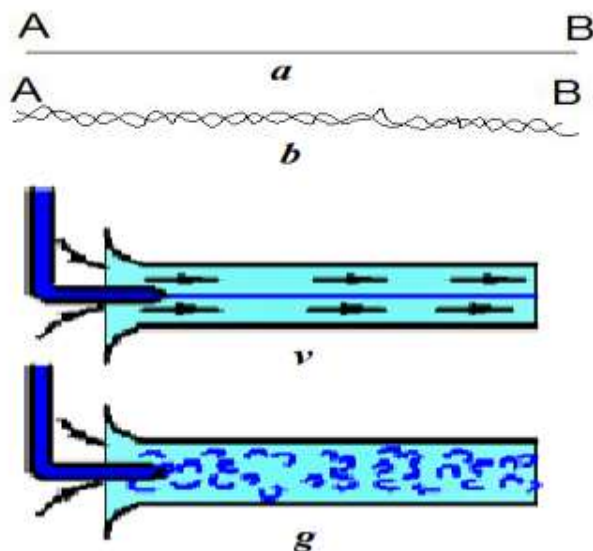
Ko`p hollarda quvurlardagi suyuqlik tekis harakatda bo`ladi, ya'ni tezlik oqim yo`nalishi bo`yicha o`zgarmaydi. Bu holda harakatning qanday bo`lishiga, asosan, ichki ishqalanish kuchi ta'sir qiladi. Bu holda uning ikki kesimidagi bosimlar farqi ishqalanish kuchining va geometrik balandliklar farqining 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 batartib 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 qavatdan 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 chizigi (2.1-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.

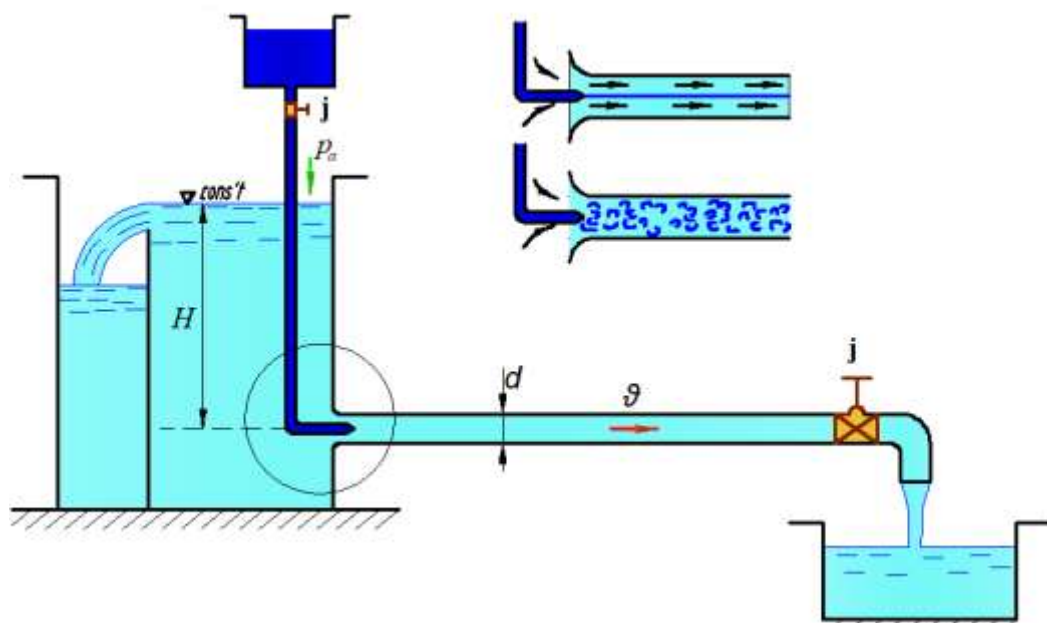
Laminar harakatni tajribada kuzatish uchun suyuqlik oqayotgan shisha quvurning boshlang`ich kesimiga shisha naycha orqali rangli suyuqlik keltirib qo`shib yuborsak, rang suyuqlikda aralashmasdan to`g`ri chiziqli bo`yicha oqim ko`rinishida ketadi (2.1-rasm, v).

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 qavatdan qo'shni qavatga o'tib, energiyasining bir qismini yo'qotib, o'z qavatiga qaytib keladi. Oqim tezligi juda oshib ketsa, zarrachalar bir qavatdan ikkinchi qavatga tez o'ta boshlaydi. Natijada suyuqlik harakatining tartibi buziladi. Bunday harakat turbulent harakat deyiladi.



2.1. rasm. Laminar va turbulent harakatga oid chizma

Yuqorida aytganimizdek, A nuqtadan o'tayotgan zarrachalarni ko'rsak, birinchi zarracha B nuqtaga tekis chiziq bilan emas, qandaydir egri-bugri chiziq bo'yicha keladi. Hatto u nuqtaga aniq kelmasligi mumkin. Birinchining ketidan kelayotgan ikkinchi zarracha ham A dan B ga egri-bugri chiziq bilan keladi. Lekin bu chiziq birinchi zarracha yurgan chiziqdan farq qiladi. Uchinchi zarracha esa A dan B ga uchinchi egri-bugri chiziq bilan keladi. Shunday qilib turbulent harakatda ixtiyoriy A nuqtadan o'tuvchi har bir suyuqlik zarrachasi B nuqtaga o'ziga xos egri chiziq bilan keladi (2.1-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 (2.1-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.



2.1-rasm, d. Reynolds qurilmasi

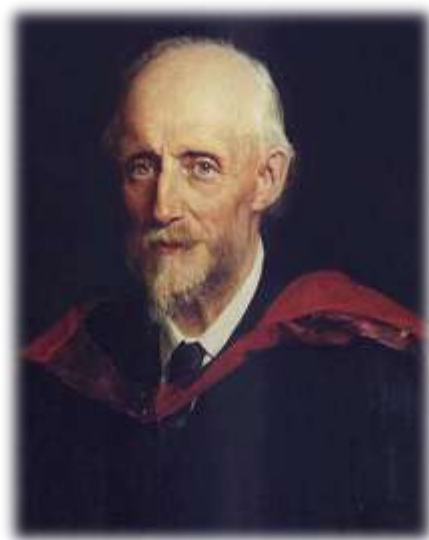
Bu miqdor olimning hurmatiga *Reynolds soni* deb ataladi va formulalarda *Re* bilan belgilanadi. Silindrik quvurlardagi oqim uchun Reynolds soni quyidagicha qisoblanadi:

$$Re = \frac{\varrho d}{\nu} \quad (4.1)$$

Har qanday harakatdagi suyuqlikda quyidagi rejimlar mavjud: laminar (lotin tilida *lamina* – «qatlam-qatlam») va *turbulent* (lotin tilida *turbulentus* – «betartib»).

Suyuqlik harakati davomida har xil rejimlar mavjudligini 1854 yil nemis injener-gidrotexnigi G.Xagen, 1880 yil rus olimi D.Mendeleevlar ham kuzatishgan.

Tajribalar asosida suyuqlikning ikki xil harakat rejimi mavjudligini 1883 yil ingliz fizigi O.Reynolds tasdiqlagan.



**O. Reynolds
(1842-1912)**

Turli shakldagi nosilindrik quvurlar va o`zanlardagi oqimlar uchun Reynolds soni quyidagicha o`lchanadi:

$$Re = \frac{\varrho d_{ekv}}{\nu} = \frac{4\varrho R}{\nu} \quad (2.2)$$

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'lvovsiz miqdorning kichik qiymatlarida laminar harakat bo'lib, uning oshib borishi natijasida u turbulent harakatga aylanadi. (2.1) 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 harakatdan 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 ehtiyot 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 (2.1) 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

$$H_{1-2} = k_L \mathcal{Q},$$

turbulent harakatda esa uning n – darajasiga proporsional bo'ladi.

$$H_{1-2} = k_T \mathcal{Q}^n$$

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.

2.2. Hidrodinamik o'xshashlik asoslari.

Hidrodinamik 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 qurilma 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 hodisani uzunlik o'lchamlari esa $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ bo'lsin. U holda agar bo'lsa bu hodisalar geometrik o'xshash bo'ladi.

$$\frac{L_1}{l_1} = \frac{L_2}{l_2} = \frac{L_3}{l_3} = \frac{L_n}{l_n} = \text{const} \quad (2.3.)$$

Xususan, $l_1, l_2, \dots, l_n$ quvurning uzunligi, diametiri, tezlik yoki boshqa parametrlarni o'lchanayotgan nuqtaning koordinatalari va hokazo bo'lishi mumkin. Yuqorida aytilgan hodisalar uchun tezlik o'lchamlari $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ va $v'_1, v'_2, v'_3, \dots, v'_n$ bo'lsin.

Agar bo'lsa, bu hodisalar kinematik o'xshash bo'ladi.

$$\frac{v_1}{v'_1} = \frac{v_2}{v'_2} = \frac{v_3}{v'_3} = \frac{v_n}{v'_n} = \text{const} \quad (2.4.)$$

Xususan $v_1, v_2, \dots, v_n$ o'lchash olib borilayotgan nuqtalardagi tezliklardir.

Mazkur ikki hodisa uchun:

$$\frac{t_1}{t'_1} = \frac{t_2}{t'_2} = \frac{t_3}{t'_3} = \dots = \frac{t_n}{t'_n} = \text{const} \quad (2.5.)$$

bo`lsa, ularda vaqt o`xshashligi mavjud .

Yuqorida keltirilgan (2.3), (2.4) va (2.5) nisbatlarning tengligini ifodalovchi o`zgarmas miqdorlar *o`xshashlik doimiysi* deb ataladi va uzunlik uchun α_l tezlik uchun α_v vaqt uchun at belgilar bilan belgilanadi. Shuningdek tezlanish uchun α_a zichlik uchun α_ρ qovushqoqlik uchun α_μ 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,

$$\frac{g_1 l_1 v_1}{g'_1 l'_1 v'_1} = \frac{g_2 l_2 v_2}{g'_2 l'_2 v'_2} = \dots = \frac{g_n l_n v_n}{g'_n l'_n v'_n} = \text{const}$$

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 u

$$F_1 = m_1 \frac{d g_1}{dt_1} \quad (2.6.)$$

Ikkinchi hodisa uchun esa

$$F_2 = m_2 \frac{d g_2}{dt_2} \quad (2.7)$$

Ikkinchi hodisa uchun o`xshashlik doimiylari a_f , a_m , a_v , a_t larni kiritsak, (2.7) birinchi hodisa parametrlari orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\alpha_f F_1 = \alpha m_1 \frac{\alpha d}{\alpha t} m_1 \frac{d g_1}{dt_1}$$

yoki

$$\frac{\alpha_f \alpha_t}{\alpha_m \alpha_v} F_1 = m_1 \frac{d g_1}{dt_1} \quad (2.8)$$

(2.6.) bilan (2.8) 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.

$$C = \frac{\alpha_f \alpha_t}{\alpha_m \alpha_v} = 1$$

bundan

$$\frac{\frac{F_1 t_1}{m_1 g_1}}{\frac{F_2 t_2}{m_2 g_2}} = 1 \quad \text{yoki} \quad \frac{F_1 t_1}{m_1 g_1} = \frac{F_2 t_2}{m_2 g_2}$$

Bu munosabat bir necha o'xshash hodisalar uchun umumlashtirsak, quyidagi o'xshashlik aniqlovchisini olamiz.

$$Ne = \frac{Ft}{mg} = \text{const}$$

bunga Nyuton mezoni deyiladi.



Isaak Nyuton (1642-1727)

Gidrodinamik o'xshashlikni quyidagi kriterial miqdorlar aniqlaydi .
Struxal mezoni yoki gomoxronlik mezoni

$$Sh = \frac{l}{gt} \quad (2.9.)$$

Reynolds mezoni

$$Re = \frac{gl}{\nu} \quad (2.10)$$

Eyler mezoni

$$Eu = \frac{p}{\rho g^2} \quad (2.11)$$

Frud mezoni

$$Fr = \frac{g^2}{gl} \quad (2.12.)$$

Bu kriterial miqdorlar yuqorida keltirilgan usulni Nave-Stoks tenglamasiga qo'llash yo'li bilan olinadi.

Birinchi hodisa uchun Nave-Stoks tenglamalar sistemasidan birinchi tenglamani yozamiz:

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) + g \cos \alpha_x, \quad (2.13)$$

bu yerda $g \cos \alpha$ og'irlik kuchining O_x o'qidagi proyeksiyasi. Bu tenglamaga (2.7) va (2.8) lardagi kabi o'xshashlik doimiysini kiritsak, u quyidagi ko'rinishga keladi

$$\frac{\alpha_v}{\alpha_t} \frac{\partial u_x}{\partial t} + \frac{\alpha_v^2}{\alpha_1} (u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z}) = -\frac{\alpha_p}{\alpha_\rho \alpha_1} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\alpha_y \alpha_v}{\alpha_1^2} \nu (\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2}) + \alpha_g g \cos \alpha_x$$

tenglamaning ikki tomoni $\frac{\alpha_v^2}{\alpha_\rho}$ ga bo'lsak, u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\alpha_e}{\alpha_v \alpha_e} \frac{\partial u_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + U_z \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{\alpha_\rho}{\alpha_\rho \alpha_v^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\alpha_v}{\alpha_v \alpha_1} \nu (\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2}) + \frac{\alpha_g \alpha_1}{\alpha_v^2} g \cos \alpha_x, \quad (2.14)$$

Ikki hodisa o'xshash bo'lsa, ularni ifodalovchi tenglamalar bir xil bo'ladi. Ikki hodisa o'xshashligidan (2.13) va (2.14) tenglamalar bir xil bo'lishi kerakligi kelib chiqadi. Bundan ko'rinadiki

$$1) \frac{\alpha_t}{\alpha_v \alpha_1^2} = 1; \quad 2) \frac{\alpha_p}{\alpha_\rho \alpha_v^2} = 1; \quad 3) \frac{\alpha_v}{\alpha_\rho \alpha_1} = 1; \quad 4) \frac{\alpha_g \alpha_1}{\alpha_v^2} = 1.$$

Birinchi kombinatsiyadagi o'xshashlik doimiylarini o'z o'rniga qo'ysak

$$\frac{\frac{l_1}{l_2}}{\frac{g_1 t_1}{g_2 t_2}} = 1, \text{ ya'ni } \frac{l_1}{g_2 t_1} = \frac{l_2}{g_2 t_2}$$

Gidrodinamik o'xshash voqealar uchun Struxal mezoni bir xil bo'lishi kerak:

$$Sh = \frac{1}{g t} = const$$

Ikki kombinatsiyadan

$$\frac{\frac{p_1}{p_2}}{\frac{\rho_1 g_1^2}{\rho_2 g_2^2}} = 1; \quad \frac{p_1}{\rho_1 g_1^2} = \frac{p_2}{\rho_2 g_2^2}$$

Demak, gidrodinamik o'xshash voqealar uchun Eyler mezoni bir xil bo'lishi kerak:

$$Eu = \frac{p}{\rho g^2} = const$$

Uchinchi kombinatsiyadan

$$\frac{\frac{v_1}{v_2}}{\frac{g_1 l_1}{g_2 l_2}} = 1; \quad \frac{g_1 l_1}{v_1} = \frac{g_2 l_2}{v_2}$$

O'xshash voqealar uchun yuqoridagilardan tashqari Reynolds mezoni ham bir xil bo'lishi kerak:

$$Re = \frac{g l}{\nu} = const$$

To`rtinchi kombinatsiyadan

$$\frac{\frac{g_1 l_1}{g_2 l_2}}{\frac{g_1^2}{g_2^2}} = 1; \quad \frac{g_1^2}{g_1 l_1} = \frac{g_2^2}{g_2 l_2}$$

Gidrodinamik hodisalar o`xshash bo`lishi Frud mezonining ham bir xil bo`lishini taqozo qiladi:

$$Fr = \frac{g^2}{gl} = const$$

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

$$\varphi_1(Sh, Eu, Re, Fr) = 0 \quad (2.15)$$

ko`rinishda ifodalanadi.

Agar harakat barqaror bo`lsa u holda (2.15) ning o`rniga

$$\varphi_2(Eu, Re, Fr) = 0 \quad (2.16)$$

munosabatdan foydalanamiz.

(2.15) va (2.16) munosabatlari 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 (2.15) yoki (2.16) tenglamani aniqlangan ko`rinishga keltirish uchun foydalanamiz. Ko`p hollarda (2.16) tenglamani ham soddalashtirib, og`irlik kuchi harakatga kam ta'sir etadigan hollarga ko`rinishida qo`llaymiz.

$$\varphi_3(Eu, Re) = 0 \quad (2.17)$$

Oxirgi tenglama yuqori bosim ostida bo`ladigan hodisalar uchun yaqin keladi.

IV bob bo'yicha nazorat savollari

1. Suyuqlik harakatinig tartiblari.
2. Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi
3. Laminar harakat tartibining xususiyatlari.
4. Reynolds soni.
5. Turbulent harakat tartibining xususiyatlari.

III BOB. SUYUQLIKLARNING LAMINAR HARAKATI

3.1. Tezlikning silindirik quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishi

Qovushoq suyuqliklar quvurda laminar harakat qilganda uning oqimchalari 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 qavatlarga 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 (3.1-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

1-1 kesimdagi bosim kuchi

$$P_1 = p_1 d\omega$$

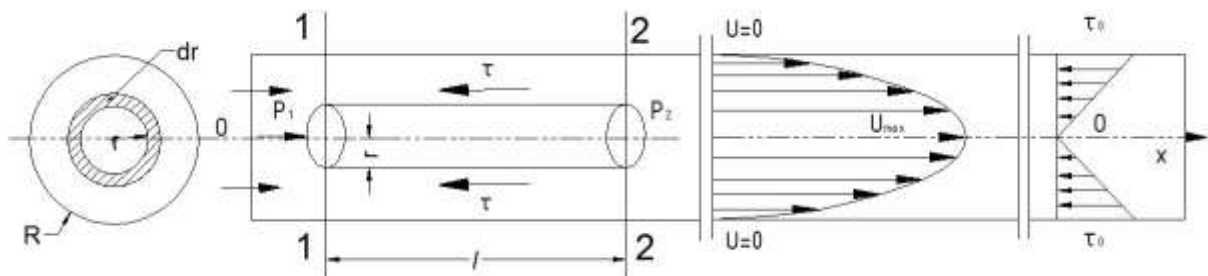
2-2 kesimdagi bosim kuchi

$$P_2 = p_2 d\omega$$

ishqalanish kuchi

$$T = \tau 2\pi l = -\mu 2\pi l \frac{du}{dr}$$

dan iborat.



3.1-rasm. Laminar harakatda tezlikning quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishi

U holda elementar naychani muvozanat shartidan quyidagini yoza olamiz.

$$P_1 - P_2 - T = 0 \quad (3.1)$$

Elementar naycha kesimi $dS = \pi r^2$ ekanligini nazarda tutib, (3.1) dan quyidagi tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$\pi r^2 p_1 - \pi r^2 p_2 + \mu 2\pi r l \frac{du}{dr} = 0$$

Bu tenglamadan ushbu differentsial tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$\frac{du}{dr} = -\frac{r}{2\mu} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (3.2)$$

Oxirgi tenglamaning o'zgaruvchilarini ajratamiz

$$du = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} r dr$$

va chap tomoni u dan 0 gacha, o'ng tomonini esa r dan R gacha integrallab, tezlik uchun munosabat keltirib chiqaramiz:

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^2 - R^2) \quad (3.3)$$

Hosil qilingan tenglama parabola tenglamasi bo'lib, u tezlikning silindrik quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishini ko'rsatadi. (3.3) dan ko'rinib turibdiki, quvurdagi harakat tezligi $r = 0$ da maksimumga erishadi

$$u_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} R^2 \quad (3.4)$$

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 (3.1-rasm) elementar sarf quydagiga teng bo'ladi:

$$dQ = 2\pi r du$$

Oxirgi tenglikka (3.3) dan tezlikning formulasini qo'ysak, quyidagini olamiz:

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

Bu tenglikning chap tomonini 0 dan Q gacha o'ng tomonini esa 0 dan R gacha integrallab munosabatni olamiz.

$$Q = -\int_0^R 2\pi r \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^2 - R^2) dr = -\pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \int_0^R (r^2 - R^2) r dr = \pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \left(\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4} \right) = \frac{\pi R^4}{8\mu l} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (3.5)$$

Bu holda o'rtacha tezlikni shunday topamiz:

$$\bar{u} = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\mu l \pi R^2} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} R^2 \quad (3.6)$$

(3.6) va (3.4) munosabatlarni solishtirib quvurda laminar harakat vaqtida o`rtacha tezlik bilan maksimal tezlik orasidagi munosabatni topamiz:

$$g = \frac{u_{\max}}{2} \quad (3.7.)$$

Demak, silindrik quvurda laminar harakat vaqtida o`rtacha tezlik maksimal tezlikdan ikki marotaba kichik ekan.

3.2. Quvur uzunligi bo`yicha energiyani y o`qolishi (Puazeyl 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 (3.3) ni qo`yamiz.

U holda,

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = \frac{p_1 - p_2}{2l} r \quad (3.8.)$$

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 (3.1-rasm) (2.56) tenglamada silindrik quvurdagi uzunlik bo`yicha gidravlik yo`qotishni ishqalanish kuchi orqali berilgan edi. Endi bu formulaga (3.8) munosabatni qo`ysak.

$$H_e = \frac{p_1 - p_2}{\gamma 2l} R \frac{2Rl}{\pi R^2} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}.$$

Kesimlardagi bosim farqi ($p_1 - p_2$) ni (3.6) formuladan o`rtacha tezlik orqali ifodalasak:

$$p_1 - p_2 = \frac{2\mu l}{R^2} g = \frac{32\mu l}{D^2} g$$

va gidravlik yo`qotish formulasiga qo`ysak, quyidagi munosabatni olamiz:

$$H_l = \frac{8\mu l}{\gamma D^2} g \quad (3.9.)$$

U holda gidravlik qiyalik uchun formula chiqarish qiyin emas. Buning uchun (5.9) ning ikki tomonini l ga bo`lamiz

$$\frac{H_l}{l} = \frac{32\nu}{gD^2} g \quad (3.10)$$

va oxirgi tenglikni quyidagicha yozamiz:

$$J = \frac{232\nu}{gD^2 D g} g^2 = \frac{64\nu}{9D^2 g D} g^2$$

Silindrik quvurlar uchun Reynolds soni

$$Re = \frac{gD}{\nu}$$

ko`rinishda yozilgani uchun

$$J = \frac{64}{Re} \frac{g^2}{2gD}$$

Demak, laminar harakat vaqtida gidravlik qiyalik va bosimning pasayishi Reynolds soniga bog`liq ekan.  $\frac{64}{Re}$  ko`rinishdagi miqdorni gidravlikada λ bilan belgilanadi:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3.11)$$

va ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti deb ataladi. U holda energiyaning yo`qolishi va gidravlik qiyalik uchun quyidagicha Darsi - Veysbax formulasini olamiz.

$$H_e = \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} \quad (3.12)$$

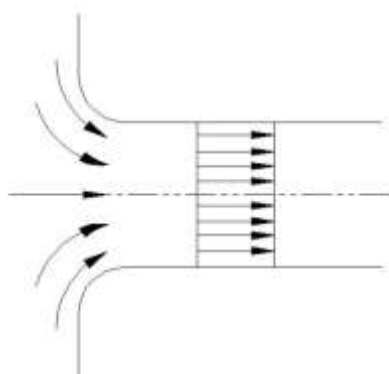
$$J = \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g}$$

Shunday qilib, laminar harakat vaqtida quvur uzunligi bo`yicha bosimning pasayishi va gidravlik qiyalik solishtirma kinetik energiyaga chiziqli bog`liq ekan.

3.3. Oqimning boshlang'ich bo`lagi.

Yuqorida aytib o`tilgan 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 .

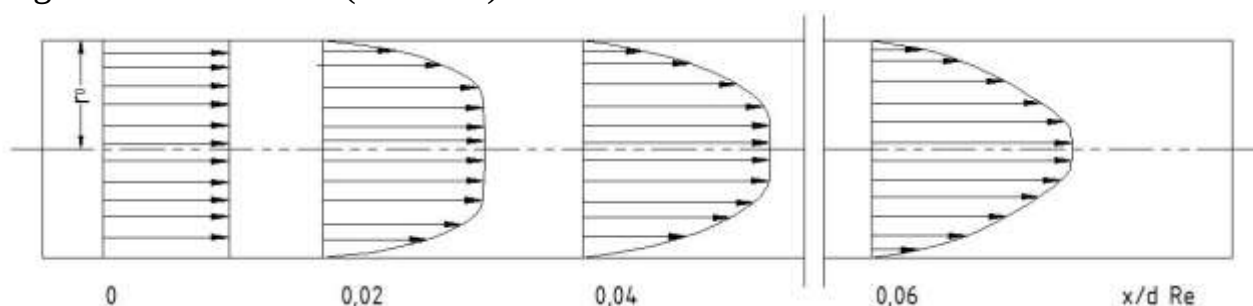
Laminar harakatning quvurda rivojlanishini quyidagicha tasavvur qilish mumkin. Hajmi juda katta idishdan suyuqlik quvurga kirsin va quvur kirish qismining chekkalari yaxshilab dumaloqlangan bo`lsin. Bu holda boshlang'ish kesimda tezlik deyarli o`zgarmas bo`ladi. Bu qonun faqat *chegara* (yoki devoroldi) 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 chiziq kesmasi (3.2-rasm) bilan aniq ifodalanadi.



3.2-rasm. Naycha kirishidagi tezlik taqsimotiga doir.

Kirish qismidan uzoqlashgan sari devorlardagi ishqalanish kuchi ta'sirida chegara qatlamga yaqin qavatlarida 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 butun harakat qilishni davom ettiradi, ya'ni boshqacha aytganda markaziy qavatlarida 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 (3.3-rasm).



3.3-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:

$$L_{\text{bosh}} = 0,028 Re D \quad (3.13)$$

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.

3.4. Tekis va halqasimon tirqishlarda suyuqlikning laminar harakati.

Yuqorida biz laminar harakatning eng sodda turlaridan biri silindrik quvur-
dagi 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 berkitish ishlari
orada tirqish qoldirib bajariladi. Porshenli nasoslar va gidrouzatmalarda 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 (3.4-rasm).

Ko`rilayotgan tirqishda uzunligi  $l$ , eni  $b$  va balandligi  $y$  bo`lgan
parallelepiped ajratamiz. Bu parallelepipedga 1-1 kesimi bo`yicha  $Ox$  o`qi
yo`nalishida

$$P_1 = p_1by$$

2-2 kesimi bo`yicha

$$P_2 = p_2by$$

bosim kuchlari ta'sir etadi.

Parallelepipedning ustki sirtiga

$$T_1 = \tau bl = -\mu \frac{du}{dy} bl$$

va ostki sirtiga

$$T_2 = \tau_0 bl$$

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.

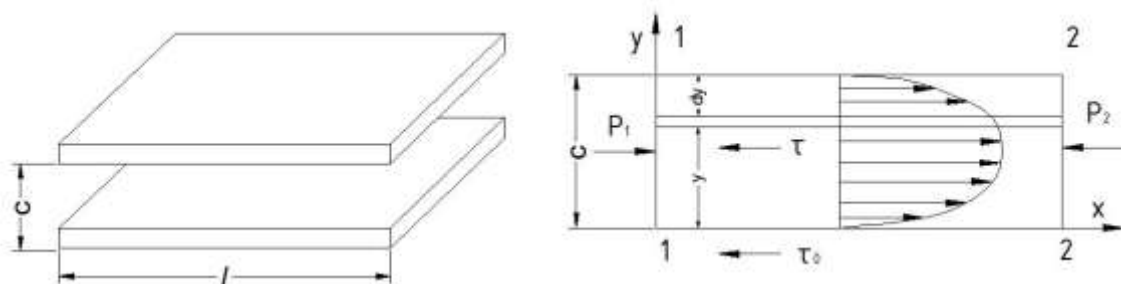
$$P_1 - P_2 - T_1 - T_2 = 0 \quad (3.14)$$

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. (3.15) tenglamaning chap tomonini 0 dan u gacha, o`ng tomoni 0
dan y gacha integrallab, quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} y^2 + \frac{\tau_0}{\mu} y \quad (3.16)$$



3.4-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 (3.16) ga qo'yamiz. Natijada tezlik uchun quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} y(y - c) \quad (3.17)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, tekis tirqishdagi tezlik parabolik qonunga bo'ysunar ekan. Tezlik $y = \frac{c}{2}$ da maksimal qiymatga erishadi, ya'ni:

$$u_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} c^2 \quad (3.18)$$

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.

$$Q = \int_s dQ = b \int_0^c u dy = b \int_0^c \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} (c - y)y dy = b \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \int_0^c (c - y)y dy = \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} b \left(\frac{c^3}{2} - \frac{c^3}{3} \right) = \frac{p_1 - p_2}{12\mu l} c^3 b \quad (3.19)$$

Bu formula yordamida tirqishdan oqib ketayotgan suyuqlik miqdorini aniqlash mumkin.

O'rtacha tezlikni topish uchun sarfni oqimning kesimiga bo'lamiz, ya'ni (3.18) va (3.20) tenglamalarni o'zaro taqqoslab, o'rtacha tezlik bilan maksimal tezlik o'rtasidagi bog'lanishni topamiz:

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{p_1 - p_2}{12\mu l} \frac{c^3 b}{cb} = \frac{p_1 - p_2}{12\mu} c^2 \quad (3.20)$$

$g = \frac{2}{3} u_{\max}$. 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.

$$H_e = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

(3.20) dan $(p_1 - p_2)$ ni o`rtasha 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.

$$H_e = \frac{12\mu l}{\gamma c^2} g$$

Tirqishning gidravlik radiusi

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{lb}{2(c+b)} \approx \frac{c}{2}$$

bo`lishni va Reynolds soni  $Re = \frac{gR}{\nu}$  ni nazarga olib, gidravlik yo`qotishni quyidagicha yozamiz:

$$H_e = \frac{12\mu l}{gc^2} g = \frac{24l}{\frac{gR}{\nu}} \frac{g^2}{2g} = \frac{96}{Re} \frac{l}{Re} \frac{g^2}{2g}. \quad (3.21)$$

Agar silindrik quvurdagi laminar harakat tekshirilgandagi kabi

$$\lambda = \frac{96}{Re} \quad (3.22)$$

belgilashni kiritsak, ushbu munosabatni olamiz.

$$H_e = \lambda \frac{l}{4R} \frac{g^2}{2g} \quad (3.23)$$

Oxirgi munosabatdan foydalanib gidravlik qiyalikni hisoblash formulasini olamiz.

$$J = \frac{H_e}{l} = \lambda \frac{l}{4R} \frac{g^2}{2g} \quad (3.24)$$

Bu olingan formulalar ma'lum hollarda kontsentrik halqasimon tirqishlardagi laminar harakat uchun ham qo`llanilishi mumkin.

Masalan, plunjerning 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 (3.19) dagi b o`rniga  $d_1$  ni qo`yish kerak. Ekstsentrik halqasimon tirqishlar uchun sarfini hisoblashda esa (3.19) dagi b o`rniga  $\pi \frac{d_1 + d_2}{2} = \pi(d_1 + c)$  ni qo`yish kerak; bu yerda e – plunjer va silindr o`qlari orasidagi ekstsentrisitet. Agar tirqishning qalinligi plunjer diametriga yaqin

miqdorlarda o'lanadigan bo'lsa, u holda halqasimon tarqishdagi harakat uchun boshqacha formulalar chiqarish kerak bo'ladi.

Diametrlari d_1 va d_2 , uzunliklari l bo'lgan plunjer va silindr orasidagi tirqishda (3.5-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

$$P_1 = p_1 \pi (r^2 - r_1^2)$$

kuch, 2-2 kesim yuzasi bo'yicha

$$P_2 = p_2 \pi (r_2^2 - r_1^2)$$

kuch ta'sir qiladi.

Ichki silindr sirti bo'yicha

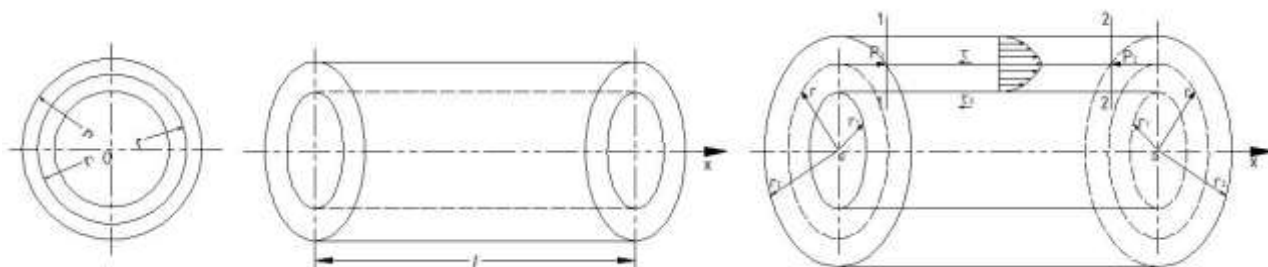
$$T_1 = \tau_0 2\pi r_1 l$$

Tashqi silindr sirti bo'yicha esa kuchlar ta'sir qiladi.

$$T_2 = \tau 2\pi r l = \mu \frac{du}{dr} 2\pi r l$$

Bu holda avvalgi masaladagi kabi suyuqlik hajmining muvozanat sharti bo'yicha quyidagi tenglamani olamiz.

$$\frac{du}{dr} = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \frac{r^2 - r_1^2}{r} + \frac{\tau_0}{\mu r}$$



3.5-rasm. Halqasimon tirqishda suyuqlikning laminar harakatiga doir chizma

Suyuqlikning tezligi $r = r_1$ da nolga teng bo'ladi. Shuning uchun (3.25) 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

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \left[(r_2^2 - r_1^2) - 2 \ln \frac{r_2}{r_1} \right] - 2 \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{\tau_0}{\mu} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

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 (3.26) 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 (3.27) dan (3.17) ni keltirib chiqarish mumkin. Bu esa yuqorida aytilgan fikrlarni yana bir bor tasdiqlaydi. Halqasimon tirqishdan oqayotgan suyuqlikning maksimal tezligi avvalgidek tirqish balandligining o'rta qismiga to'g'ri kelmaydi. Maksimal tezlikni topish ancha murakkab bo'lgani uchun biz uni keltirmaymiz.

Halqasimon tirqishdan oqayotgan suyuqlikning sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q = 2\pi \int_{r_1}^{r_2} u r dr = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} \pi (r_2^2 - r_1^2) \left[r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right]. \quad (3.28)$$

U holda o'rtacha tezlikni topish uchun sarfni kesim $-\omega = \pi(r_2^2 - r_1^2)$ ga bo'lamiz.

$$\vartheta = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} (r_2^2 + r_1^2) - \left(\frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right). \quad (3.29)$$

Gidravlik yo'qotish esa quyidagicha hisoblanadi.

$$H_e = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{8\mu l \ln \frac{r_2}{r_1}}{(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1} - (r_2^2 - r_1^2)} \frac{\vartheta}{g}.$$

Gidravlik radius

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi(r_2^2 - r_1^2)}{2\pi(r_2 - r_1)} = \frac{r_2 + r_1}{2}$$

Demak, Reynolds soni

$$\text{Re} = \frac{94R}{\nu} = \frac{92(r_2 + r_1)}{\nu}$$

Buni nazarda tutsak,

$$He = \frac{64(r_2^2 - r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1}}{\operatorname{Re} \left[(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1} - (r_2^2 - r_1^2) \right]} \frac{l}{2(r_2 - r_1)} \frac{g^2}{2g}$$

Avvalgi hollarda belgilashni kiritamiz.

$$\lambda = \frac{64}{\operatorname{Re}} \frac{(r_2^2 - r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1}}{(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1} - (r_2^2 - r_1^2)}.$$

U holda

$$H_e = \lambda \frac{l}{2(r_2 - r_1)} \frac{g^2}{2g} \quad (3.30)$$

Gidravlik nishablik uchun esa

$$J = \frac{H_e}{l} = \lambda \frac{1}{2(r_2 - r_1)} \frac{g^2}{2g}. \quad (3.31)$$

Ekstsentrik halqasimon tirqishlar uchun hisoblash formulalari murakkab bo'lgani uchun ularni ushbu kitobga kiritmadik.

3.5. Laminar oqimning maxsus turlari (o'zgaruvchan qovushqoqlik, obliteratsiya)

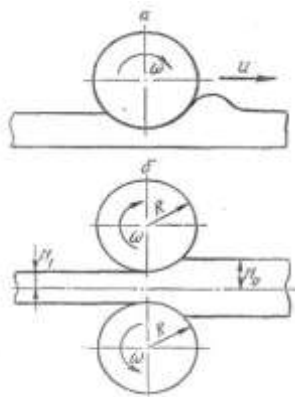
Mashinalar gidravlikasini yaratish rus olimlari A.A.Sablukov, V.A.Pusheshnikov, V.G. Shuxov va boshqalarning nomlari bilan bog'langan.

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 sezilarsiz darajada ekstsentrik joylashuvi qo'shimcha kuchlarni vujudga keltiradi va u valdagi zo'riqishlarni 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 ekstsentrik 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 podshnipnikdagi moyning harakatini ifodalab bera olmaydi.



3.6 -rasm. N.P. Petrov nazariyasini izohlashga oid rasm.

N.P. Petrov nazariyasi boshqa bir qancha masalarni yechishga yordam bera-di. Bularga qovushoq suyuqlikning yupqa qavati bilan qoplangan sirt ustida silindirning dumalashi (3.6-rasm) masalasi kiradi. Bu masalaning yechilish usuli qizdirilgan metallni prokatlash ishlarida ham qo`llaniladi. Bu holda tajribalar shuni ko`rsatadiki, qizdirib prokatlanayotgan metall juda qovushoq suyuqlikka o`xshash xossaga ega bo`ladi. Bu hodisani birinchi bo`lib I.V. Meshsherskiy tekshiradi. Uning yechimlari S.M. Targning monografiyasida keltirilgan.

Avvalgi paragrafda keltirilgan tekis va silindrik sirtlar orasidagi tirqishda harakat qilayotgan suyuqlik harakati masalalari plunjerning silindr ichidagi harakatiga yana ham yaqinroq bo`lish uchun bu sirtlarning birini biror  $V$  tezlik bilan harakatlanayotgan deb qarash kerak bo`ladi. Bu masalalarning yuqorida keltirilgan yechimlarida yana bir narsa hisobga olinmagan. Pulunjer silindr ichida harakat qilgan vaqtda 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 bag`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.

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 qavatlarida 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 yadrodagı tezlik ortib, tezlik taqsimoti chizig'i cho'ziqroq bo'ladi, aksincha, sovutishli oqimlar holida esa bu chiziq qisqaradi.

Laminar harakat issiqlik berish (sovutish) bilan amalga oshirilsa, temperatura o'zgarmagan holga qaraganda qarshilik ortadi, issiqlik kelishi (qizdirish) bilan amalga ohsa, qarshilik kamayadi. Bu yuqorida aytilganidek, quvur devori atrofida qovushqoqlik o'rtacha qovushqoqlikka qaraganda kam bo'lishi natijasida yuz beradi. Bu holda ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti uchun, amaliy hisoblashlarda, taqribiy formulalardan foydalaniladi:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \sqrt{\frac{\nu_g}{\nu_c}},$$

bu yerda Re – o'rtacha qovushqoqlik uchun hisoblangan Reynolds soni ν_g – quvur devori yonidagi suyuqlikning qovushqoqligi, ν_s – suyuqlikning o'rtacha 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 molekulalarning adsorbtsiyalanish hodisasi vujudga keladi. Natijada devorlar sirtida, siljituvchi kuchga qarshi ma'lum qattiqlik 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 obliteratsiya deyiladi.

Obliteratsiya qavati cheklangan bo'lib, tirqish devoridan uzoqlashgan sari uning mustahkamligi kamayib boradi, molekulalar orasidagi bog'lanish susayib, suyuqlik zarrachalari qavat sirtidan ajraladi va harakatga keladi.

Obliteratsiya intensivligi suyuqlikning turiga, tirqishdagi bosimning kamayib borishiga va boshqa sabablarga bog'liq. Bosim kamayishi ortsa, bu hodisa kuchayadi. Molekular tarkibi murakkab bo'lgan moylarda obliteratsiya hodisasi kuchliroq bo'ladi. Bunday moylarga gidrouzatmalarda ishlatiladigan neft moylari

kiradi. Obliteratsiya qavati juda yupqa (odatda, bir necha mikrondan oshmaydi) bo`lishiga qaramay, juda tor (kapillyar) tirqishlarida uning ko`ndalang kesimining anchagina 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 mikronli tirqishdan qisqa vaqt oqishi bilan tirqish butunlay bekilib qoladi.

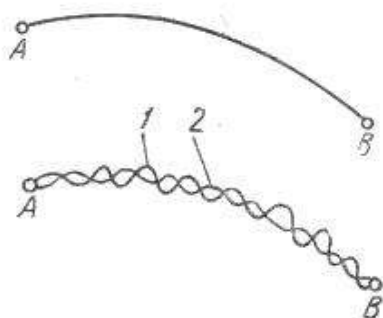
Odatda, juda kichik tirqishlarda (o`lchami 6-8 mk) obliteratsiya hodisasi tirqishni butunlay berkitib qo`yishi mumkin.

III bob bo'yicha nazorat savollari

1. Laminar harakat ta'rifini keltiring.
2. Laminar harakatdagi gidravlik qarshilaklar.
3. Reynolds tajribalari.
4. Laminar oqimning maxsus turlari
5. Oqimning boshlang'ich bo`lagi.

IV 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.



4.1-rasm. Turbulent harakatining xususiyati.

4.1. Suyuqlik trubulent harakatining xususiyatlari

Turbulent harakatda suyuqlikning har bir zarrachasi juda ham murakkab egri chiziqli trayektoriya bo`yicha harakat qiladi va har qanday ikki zarrachaning trayektoriylari bir-biriga o`xshamaydi. Buni ko`z oldimizga keltirish uchun biror A nuqtadan ketma-ket o`tayotgan zarrachalarning B nuqtaga (4.1-rasm) qanday trayektoriya bo`yicha yetib kelishini ko`z oldimizga keltiraylik. Laminar harakat vaqtida A nuqtadan chiqqan I zarracha biror silliq egri chiziq bo`yicha B nuqtaga kelsa, II zarracha ham, III zarracha ham va ulardan keyin keladigan barcha zarrachalar ham huddi shu egri chiziq bo`yicha harakat qiladi.

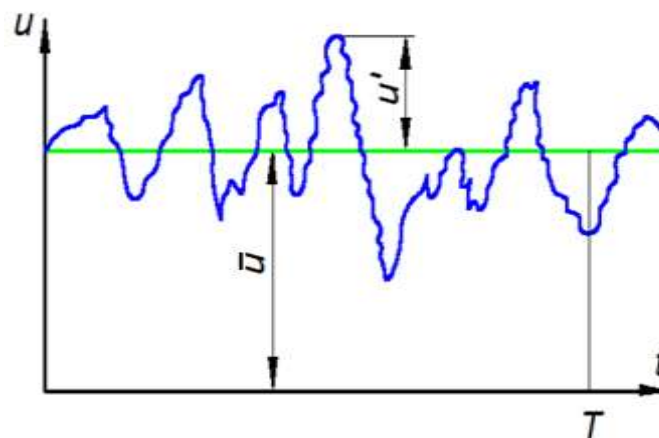
Turbulent harakat vaqtida esa A nuqtadan chiqqan birinchi zarracha murakkab egri-bugri chiziq bo`yicha B nuqtaga keladi. Ikkinchi zarracha esa birinchi zarrachaning trayektoriyyasidan tamomila boshqacha bo`lgan ikkinchi egri-bugri chiziq bo`yicha keladi. Shunda ham u birinchi zarracha kelgan B nuqtaning aniq o`ziga kelmay, uning atrofidagi biror boshqa nuqtaga kelishi mumkin. Uchinchi zarracha esa birinchi zarrachaning ham, ikkinchi zarrachaning ham trayektoriyyasiga o`xshamagan uchinchi egri-bugri chiziq bo`yicha kelib, avvalgi zarrachalar kelgan nuqtaning birortasiga ham kelmay, B nuqta atrofidagi boshqa bir nuqtaga keladi. Bu hodisa A nuqtadan o`tayotgan barcha zarrachalarga tegishlidir. Shunday qilib, turbulent harakat qilayotgan suyuqlik zarrachalarning harakatini

biror formula bilan ifodalash g'oyatda mushkul ishdir. Lekin hamma zarrachalar bir tarafga A nuqtadan B nuqta tarafiga harakat qiladi. Shunga asosan bir 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.

4.2. 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 4.2-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 asboblarni yordamida (masalan, Pito trubkasidagi suyuqlik sathining o'zgarishini) kuzatish mumkin. Oqayotgan suvda suv o'tlari novdalarining to'xtovsiz tebranma harakat qilishi ham bizga pulsatsiya hodisasini ko'rsatadi.

$$u = \bar{u} + u';$$



4.2-rasm. Tezlik pulsatsiyasiga doir chizma.

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 1.54-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 $\omega_{A'B'C'D'}$ ga teng bo'lsin. U holda $ABCD$ to'rtburchakning balandligi tenglashtirilgan tezlikka teng bo'ladi va $\bar{u}_x$ bilan belgilanadi.

Yuqorida aytib o'tilganlar turbulent harakatining beqaror harakat ekanligini 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 ishni 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 $d\vartheta$ ni aniqlasak, barqaror harakat vaqtidagi tenglashtirilgan tezlik quyidagicha aniqlanadi.

$$\bar{u} = \frac{d\vartheta}{\Delta t d\omega} \quad (4.1)$$

4.2-rasmdan ko'rinib turibdiki, tenglashtirilgan o'rtacha tezlik oniy tezlikdan farq qilib, bu farqni hisoblaganda quyidagicha ifodalanadi.

$$u_x = \bar{u}_x + u'_x \quad (4.2)$$

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.

$$\sum u'_x \Delta t = 0 \text{ yoki } \int_0^t u'_x dt = 0$$

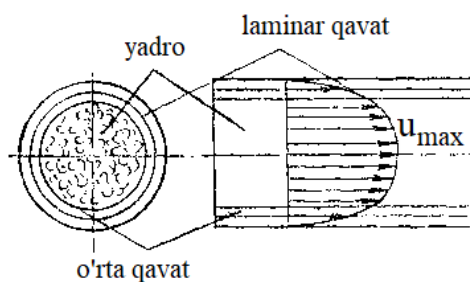
Endi suyuqlikning oqimiga ko'ndalang yo'nalishdagi tezliklarni tekshirsak, bu tezliklar bilan oqimning bir tomoniga qancha suyuqlik harakat qilsa, ikkinchi tomoniga ham shuncha suyuqlik harakat qiladi. Natijada suyuqlikning tenglash-tirilgan tezlikning yo'nalishi doimo oqim yo'nalishiga mos kelar ekan. 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.

4.3. Tenglashtirilgan tengsizliklarning kesim bo'yicha taqsimlanishi

O. Reynolds (1895) va J. Bussenesk (1897) turbulent oqimini 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 trubulent oqim uchun Reynolds modeli bo'yicha hisoblash ishlarida $\bar{u}$ va 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. L. 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 sezilarsiz 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 millimetrning bo'laklariga teng bo'lib, Reynolds soniga bog'liq va uning ortishi bilan laminar qavatning qalinligi kamayadi. Shunday qilib, turbulent harakatdagi tenglashtirilgan tezlikning taqsimlanishi (4.3-rasm), laminar haratdagi 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 4.3-rasmda silindrik quvurda turbulent oqim uchun (tutash 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:



4.3-rasm. Turbulent harakatda laminar qavat va yadro.

$$n = u_{\max} - \frac{u_*}{\chi} \ln \frac{R}{R-r}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$
(4.3.)

bu yerda τ_0 -quvur devoridagi urinma zo'riqish; χ - 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.

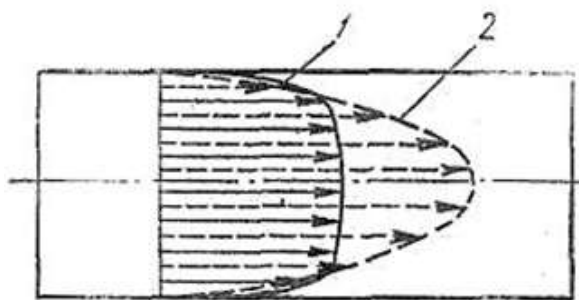
Silliq quvurlar uchun tezlik formulasi ushbu ko'rinishda yoziladi.

$$u = u_* (5,75 \lg \frac{ru_*}{\nu} + 5,5).$$
(4.4.)

G'adir-budir quvurlar uchun esa

$$u = u_* (5,85 \lg \frac{r}{\Delta} + 8,5).$$
(4.5)

Bu formulada Δ quvur devorining g'adir-budirligini xarakterlovchi miqdor bo'lib, u "absolyut g'adir-budirlik" deyiladi.



4.4-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.

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{m}}$$
(4.6)

bu yerda m – tajribada aniqlanadigan koeffitsiyent bo`lib, u  $Re$  soniga bog`liqdir. Xuddi laminar oqimdagi kabi turbulent oqimida ham tezlikning yuqoridagi tenglamalar bilan ifodalangan qonun bo`yicha taqsimlanishi quvurning boshlang`ich kesimidan ma'lum masofada vujudga keladi. Bu masofa turbulent harakatining boshlang`ich bo`lagi deb ataladi va ushbu formula bilan hisoblanadi:

$$L_{tur,n} = 0,639 Re^{0,25} D \quad (4.7.)$$

Turbulet 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.

4.4. 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.

$$u_x^2 = (\bar{u}_x + u'_x)^2$$

U holda oniy tezlik kvadratining o`rtacha qiymati quyidagicha hisoblanadi.

$$\bar{u}_x^2 = \bar{u}_x^2 + 2\bar{u}_x \bar{u}'_x + \bar{u'^2_x}.$$

Tezlik pulsatsiyasining o`rtacha qiymati nolga tengligidan o`ng tomondagi ikkinchi had nolga teng. Tezlik pulsatsiyasi vaqt o`qi bo`yicha musbat va manfiy qiymatlar qabul qilgani bilan uning kvadrati doimo musbat. Bularga asosan

$$\bar{u'^2_x} = \bar{u}_x^2 + \bar{u'^2_x}.$$

Bu tenglikdan ko`rinadiki, keltirilgan kinetik energiya uchun quyidagi tengsizlik mavjud:

$$\frac{u_x^2}{2g} > \frac{\bar{u}_x^2}{2g}.$$

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 qavatlari 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:

$$\tau_T = \mu_T \frac{du}{dn}, \quad (4.8.)$$

bu yerda μ_T - turbulent dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti yoki turbulent almashuv koeffitsiyenti deb ataladi. L.Prandtl koeffitsiyentini tezlik gradiyentiga proportsional deb qabul qilingan bo'lib, u shunday ifodalanadi:

$$\mu_T = \rho l \frac{du}{dn} \quad (4.9.)$$

bu yerda l ni aralashuv yo'l uzunligi deb ataladi. Turli mualliflar bu qiymatning fizik mazmunini turlicha izohlaydilar. Odatda, u shunday aniqlanadi:

$$l = \chi y, \quad (4.10)$$

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_T tezlik gradiyentiga proportsional bo'lib, molekulyar qovushqoqlik koeffitsiyenti μ dan harakatning xususiyatiga bog'liqligi bilan farq qiladi. Bu koeffitsiyentdan, (1.13) ni qiyos qilib, turbulent kinematik qovushqoqlik koeffitsiyentini yozamiz:

$$\nu_T = \frac{\mu_T}{\rho} = l^2 \frac{du}{dn} \quad (4.11)$$

Yuqorida keltirilganlarni hisobga olib, turbulent harakat uchun urinma zo'riqishni quyidagicha yoziladi.

$$\tau = \tau_l + \tau_T = \mu \frac{du}{dn} + \mu_T \frac{du}{dn} = \mu \frac{du}{dn} + \rho l^2 \left(\frac{du}{dn} \right)^2 \quad (4.12)$$

Laminar harakat vaqtida bu yig'indining ikkinchi hadi nolga teng bo'lib, faqat laminar qovushqoqlik urinma zo'riqishi τ_l qoladi. Reynolds sonining katta qiymatlarida turbulent harakat uchun τ_l , τ_l ga qaraganda juda katta bo'lib, (4.12) dagi yig'indining birinchi hadini tashlab yuborish mumkin (ya'ni $\tau \approx \tau_T$). Bu holda τ tezlik gradiyentining ikkinchi darajasiga proportsional bo'ladi. Silindrik quvurda tekis harakat qilayotgan suyuqlikning turbulent tartibi uchun (3.1) dagidek muvozanat tenglamasidan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$\pi r^2 (p_1 - p_2) = 2\pi l \tau. \quad (4.13)$$

Reynolds sonining katta qiymatlarida $\tau_T \gg \tau_l$ ekanligini hisobga olib, (4.13) da laminar urinma zo'riqishini kichik miqdor sifatida tashlab yuboramiz. Natijada (4.12) dan foydalanib, ushbu tenglamani chiqaramiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{2l} = \frac{\tau_T}{r}. \quad (4.14)$$

Lekin turbulent urinma zo`riqish uchun (4.8) formuladan foydalanib, quyidagi munosabatni yozamiz.

$$\sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \chi r \frac{du}{dr}. \quad (4.15)$$

Biroq quvur devori yaqinda o`zgaruvchan urinma zo`riqish (τ) ni o`zgarmas urinma zo`riqish τ_0 ko`rinishida ifodalash mumkinligini hisobga olib, (4.15) dan ushbu tenglikni keltirib chiqaramiz:

$$du = \frac{1}{\chi} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \frac{dr}{r}. \quad (4.16)$$

Tekis harakat uchun pezometrik qiyalik $I = \frac{p_1 - p_2}{l}$ ekanligini hisobga olsak, (4.14) va (4.16) dan

$$\tau_0 = \rho R \frac{l}{2} \quad (4.17)$$

ekanligiga ishonch hosil qilamiz. $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ ni u bilan belgilaymiz va (4.14) ning chap tomonini $u_{\max}$ dan u gacha, o`ng tomonini $R-r$ dan r gacha integrallab, tezlik uchun quyidagi tenglamani olamiz:

$$u - u_{\max} = \frac{u_*}{\chi} \lg \frac{r}{R-r},$$

bu tenglik avvalgi paragrafda keltirilgan turbulent tartibli harakat tenglamasi (4.3) 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 ifodalanadi;

Damli (naporli) harakatda Reynolds soni (3.1) 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

$$g = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 20}{3.14 \cdot 2.4^2} = 4.42 \text{ sm/s}$$

$t = 20^\circ\text{C}$ da moyning (IS-30) kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti

$$\nu = 150 \text{ mm}^2/\text{s} = 1.5 \text{ sm}^2/\text{s}$$

Reynolds soni:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{4.42 \cdot 2.4 \cdot 10^2}{1.5} = 700;$$

$$\text{Re}_{kr} = 2000:$$

$\text{Re} < \text{Re}_{kr}$ demak suyuqlik harakat rejimi laminar.

Laminar harakatdan turbulent harakatga o'tish uchun $\text{Re} > \text{Re}_{kr}$.

$\text{Re}_{kr} = 2000$, u holda:

$$\text{Re}_{kr} = \frac{V \cdot d}{\nu}; \quad \nu = 0.53 \text{ sm}^2/\text{s} = 53 \text{ mm}^2/\text{s}.$$

ν va t° ning bog'liqlik jadvalidan industrial moy uchun (IS-30) $\nu = 53 \text{ mm}^2/\text{s}$ 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 $l=4 \text{ m}$ bo'lgan quvurdan harorati 10°C ($\nu = 0.4 \text{ sm}^2/\text{s}$) bo'lgan neft oqib o'tmoqda. Kesimlar orasidagi bosimlar farqi $\Delta P = 5 \text{ mPa}$ va neft sarfi $Q = 0.5 \text{ l/s}$ bo'lganda suyuqlikning harakat rejimini aniqlang.

2. Diametri $d = 50 \text{ mm}$ li quvur orqali sarfi $Q = 0.5 \text{ l/s}$ bo'lgan benzin oqib kelmoqda. Agar benzin harorati 6°C dan 40°C gacha o'zgarsa suyuqlik harakat rejimi qanday o'zgaradi?

3. $d = 100 \text{ mm}$ bo'lgan quvurda suyuqlik laminar rejimda harakat qilmoqda. Agar quvur o'qidagi tezlik $u_{max} = 20 \text{ sm/s}$ bo'lsa, tezlik taqsimotining grafigini chizing.

4. Laboratoriyada diametri $d = 25 \text{ mm}$ bo'lgan quvurda tajribalar o'tkazib quyidagi qiymatlar o'lchandi: a) suvning harorati $t = 10^\circ\text{C}$, tezligi $V = 20 \text{ sm/s}$; b)

benzin harorati 20°C , tezligi $V = 25 \text{ sm/s}$; v) neft harorati 18°C , tezligi $V = 18 \text{ sm/s}$.
Suyuqliklarning harakat rejimlarini va sarfini aniqlang.

5. Yuqoridagi tajribalarning kesimi to'g'ri to'rtburchak shaklidagi ($a = 6 \text{ sm}$, $b = 4 \text{ sm}$) quvurda o'tkazilsa, suyuqliklarning harakat rejimlari qanday o'zgaradi?

4.5. Quvurlarda naporning (bosimning) kamayishi (yoqolishi)

Real suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasida keltirilgan naporning yoqolishini (bosimning pasayishi) h_{1-2} ni hisoblash quvurlar va quvurlar sistemasini hisoblashda asosiy masala hisoblandi.

Naporning yoqolishini (Bosimning pasayishi) (h_{1-2}) ni hisoblashning muhimligi shundaki, bu ish suyuqlik quvurlarda harakatlanganida quvurdagi qarshiliklarni yengish uchun sarf bo'lgan energiyani hisoblashga va shu hisobga asosan loyihalanayotgan 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 hamma 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. Shunday qilib yo'qolgan bosim (2.57) formula bo'yicha ikki yig'indidan tashkil topgan bo'ladi:

$$H_n = H_l + H_M \quad (4.18)$$

bu yerda H_l - ishqalanish qarshiligi yoki uzunlik bo'yicha napor yo'qotish, H_M - mahalliy qarshilikda yo'qotilgan napor. Laminar tartib vaqtida ishqalanish qarshiligi yuqorida keltirilgan (3.9) va (3.12) formulalardagi kabi nazariy usul bilan aniqlanishi mumkin:

$$H_e = \frac{32\mu l}{D^2} g = \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g}$$

Bu ifodadagi $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$ 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.

4.6. Darsi formulasi va gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti (Darsi koeffitsiyenti)

Turbulent harakat ustida olib borilgan tajribalar ishqalanish qarshiligining solishtirma energiyaga proportsional ekanligini ko`rsatadi, ya'ni

$$H_l = \zeta \frac{g^2}{2g} \quad (4.19)$$

Bu formuladagi proportsionallik koeffitsiyenti bir qancha miqdorlarga bog`liq bo`lib, uni tekshirish uchun quyidagi xulosadan foydalanamiz.

Juda ko`p tajribalar yuqorida keltirilgan  $\frac{\tau_0}{\rho}$  miqdorning tezlik bosimi yoki solishtirma kinetik energiya orqali quyidagicha ifodalanishini ko`rsatadi;

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \frac{\lambda}{4} \frac{g^2}{2g}.$$

u tenglikni (4.17) munosabat bilan taqqoslab ko`rsak:

$$Rl = \frac{\lambda}{4} \frac{g^2}{2g}.$$

ekanligiga ishonch hosil qilamiz. Bu yerda $I = \frac{I_l}{l}$ ekanligini hisobga olib, tekis barqaror harakat uchun uzunlik bo`yicha ishqalanishga yo`qotish yoki bosimning pasayishi uchun formula olamiz

$$H_e = \lambda \frac{l}{4R} \frac{g^2}{2g} \quad (4.20)$$

bu yerda l -quvurning uzunligi; R - gidravlik radius. Silindrik quvurlar uchun $D = 4R$ ekanligini hisobga olsak, oxirgi formula quyidagi ko`rinishda yoziladi:

$$H_e = \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} \quad (4.21)$$

(4.21) formula *Darsi - Veysbax formulasi* yoki qisqacha Darsi formulasi deyiladi. Bu formulaga kiruvchi koeffitsiyent λ gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti yoki Darsi koeffisienti deyiladi.

Bundan ko`rinadiki, (4.19) dagi koeffitsient Darsi koeffitsiyentiga bog`liq bo`lib, ya'ni u quvurning uzunligiga to`g`ri proportsional, diametriga teskari proportsional ekan.

$$\zeta = \frac{l}{D} \lambda,$$

Suyuqlikning quvurdagi laminar harakati uchun yuqorida nazariy formula (4.11) olingan edi. Turbulent harakat vaqtida esa bunday munosabatni nazariy usul bilan chiqarib bo`lmagani uchun, uni emperik yoki yarim emperik 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.

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (4.23)$$

Bu formula Reynolds soni $Re < 10^5$ bo`lganda tajribalarga yaxshi mos keladi. Reynolds sonning kattaroq diapazonlari (Re ning $3 \cdot 10^6$ gacha miqdorlari) uchun P.K.Konakov formulasidan foydalanish mumkin.

$$\lambda = \frac{1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2} \quad (4.24)$$

1932 yili L. Prandtl quyidagi formulani keltirib chiqardi:

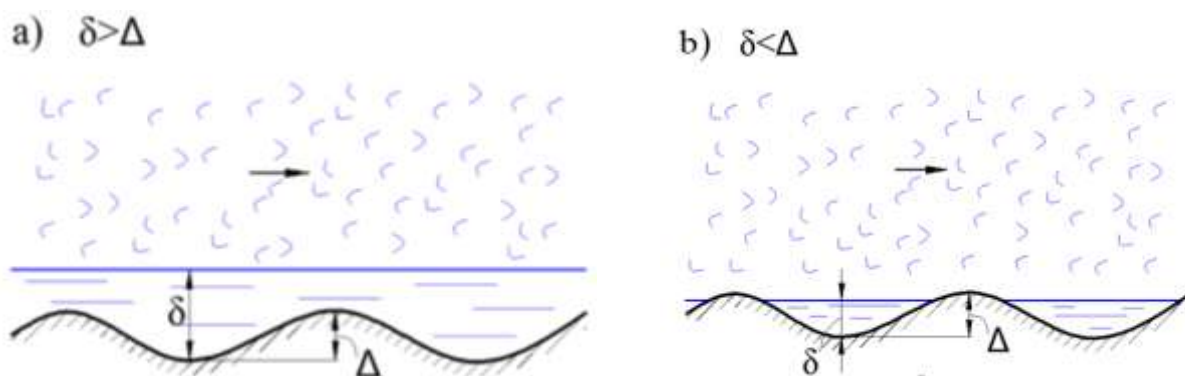
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(Re \sqrt{\lambda} - 0,8). \quad (4.25)$$

Keltirilgan formulalar silliq quvurlar uchun chiqarilgan bo`lib, g`adir-budir quvurlar uchun ulardan foydalanib bo`lmaydi.

4.7. Quvur devorining g`adir-budirligi.

Absolyut va nisbiy g`adir-budirlik

Quvurlar, kanallar va novlarning devorlari ma'lum darajada g`adir-budirlikka ega bo`ladi. Bu g`adir-budirlik quvurlarning qanday materialdan qilingani va qay darajada silliqlanganiga qarab ularning devor sirtidagi turlicha kattalikdagi yoki juda ham kichik pastlik-do`ngliklar bilan xarakterlanadi. G`adir-budirlikni xarakterlash uchun quvur sirtidagi do`ngliklarning o`rtacha balandligi qabul qilinib, u absolyut g`adir-budirlik deyiladi va Δ bilan belgilanadi (4.5-rasm). Agar absalyut g`adir-budirlik laminar chegaraviy qavatning qalinligi  $\sigma$  dan kichik bo`lsa, bu quvur gidravlik silliq quvur deyiladi. (4.5-rasm, a).



4.5 rasm. Gidravlik silliq va g`adir-budir quvurlarni tushintirishga doir chizma.

Bordiyu, Δ laminar qavat qalinligi δ dan katta bo`lsa, bu quvurlar gidravlik g`adir-budir quvurlar deyiladi (4.5-rasm, b).

Birinchi 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-budirlik  $\Delta_e$  degan tushunchani kiritiladi. U quvurlarni gidravlik sinash yo`li bilan aniqlanib, gidravlik yo`qotishni hisoblashda absolyut g`adir-budirlik uchun qanday qiymat olinsa, ekvivalent g`adir-budirlik uchun ham shunday qiymat olinadigan qilib tanlab olinadi.

4.1-jadval.

Quvurlar uchun absolyut g`adir-budirlik qiymatlari.

Quvurlar	Δ , mm
Yangi metall va sopol quvurlar tekis joylangan va tutashtirilgan 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 ozroq 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-budirlik 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:

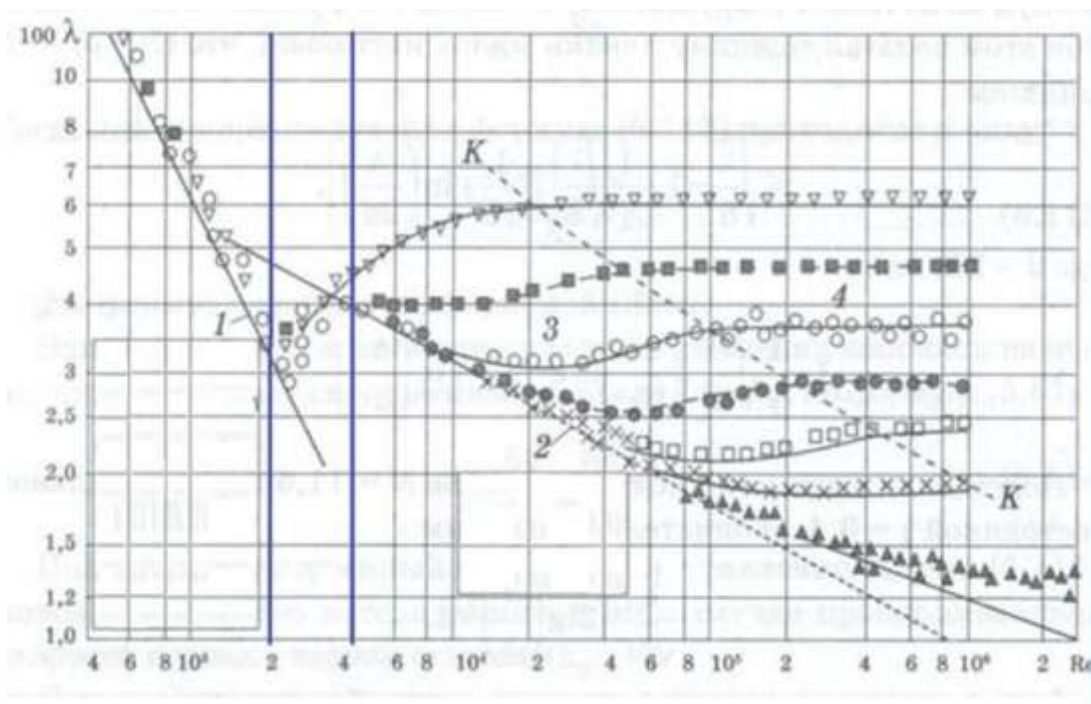
$$\varepsilon = \frac{\Delta}{D} \quad (4.26)$$

Nisbiy g'adir-budirlikdan foydalanish quvurlardagi ishqalanish qarshiligini hisoblashda ancha qulaylik tug'diradi.

4.8. Nikuradze va Murin grafiklari

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 zarrachalarini yelimlab yopishtirib, sun'iy g'adir-budirlik hosil qildi va bu quvurlarda tezlikni o'zgartirish yo'li bilan Reynolds sonining turli qiymatlarida gidravlik yo'qotishni aniqlashga muvaffaq 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 $\lg(100\lambda)$ va $\lg Re$ miqdorlarini qo'yib keltirilgan turli nisbiy g'adir-budurliklar uchun tajriba natijalaridan 4.6-rasmda keltirilgan egri chiziqlarni oladi. Bu grafikdan ko'rinib turibdiki, λ va Re bog'lanishi sohasida uchta zona mavjud.

Birinchi zona *laminar tartib zonasi* bo'lib, tajriba nuqtalari (3.11) 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 xulosalarni chiqarish mumkin:



4.6-rasm. Nikuradze grafigi.

- a) Reynolds soni Re nisbatan kichik bo'lib, 1000 dan 2300 gacha o'zgaradi;
- b) bosimning pasayishi H_1 g'adir-budirlikka bog'liq emas;
- v) H_e tezlikka to'g'ri proporsional bo'lib, Puazeyl formulasi tajribalarini yaxshi ifodalaydi;
- g) λ ni (3.11) formula bilan hisoblash mumkin.

Ikkinchi zona turbulent tartibga to'g'ri keladi va tajriba nuqtalari Blazius formulasi (4.23) bo'yicha chizilgan 2 to'g'ri chiziq ustiga tushadi va g'adir-budirlikka bog'liq emas.

Bu zonada turbulent tartib qat'iy bo'lmagani 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).

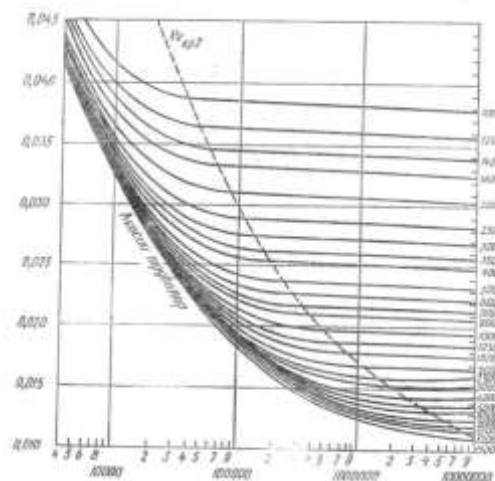
Bu zonada

- a) Reynolds soni 2300 dan taxminan 10000 gacha o'zgaradi;
- b) suyuqliklar 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-budirlikiga bog'liq emas.

Uchinchi zona – turbulent tartibga tegishli bo'lib, barqarorlashgan turbulentlik mavjud bo'ladi. Bu zonada ishqalanish koeffitsiyenti Reynolds soni Re ga ham, g'adir-budirlik ε ga ham bog'liqdir.

1938 y. A.P. Zegjda 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 uning natijalari sanoatda va texnikada qo'llaniladigan tabiiy g'adir-

budir quvurlar uchun to'g'rimi, bu quvurlar uchun g'adir-budirlikning 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 sanoatdagi po'lat quvurlarning gidravlik qarshiligini aniqlash bo'yicha o'tkazgan tajribalari to'liq bo'lib, u 1948 yili yakunlandi. Murin tajribalarining natijasi 6.7-rasmda keltirilgan bo'lib, λ ning Reynolds soniga bog'liqligi turli g'adir-budirlikka ega bo'lgan, po'lat quvurlar uchun grafik ko'rinichida 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 koeffitsiyeti λ o'tkinchi zonada barqarorlashgan turbulentlik zonasiga qaraganda kattaroq qiymatga ega ekanligini ko'rsatdi (Nikuradze tajribalari buning aksini ko'rsatadi). Bundan xulosa shuki, su'niy g'adir-budir quvurlarda λ Reynolds soni ortib borishi bilan ortib o'tkinchi zonada barqarorlashgan trubulentlik zonasiga qaraganda kam bo'lsa λ tabiiy g'adir-budir quvurlarda Re ning ortishi bilan kamayib boradi.



4.7-rasm. Murin grafigi.

4.9. Gidravlik silliq va g'adir-budir quvurlar

Darsi va Puazeyl formulalarida gidravlik qarshilik tezlikning ikkinchi va birinchi darajalar bilan ifodalanganligidan uni umumiy holda quyidagi formula bilan ifodalash mumkin:

$$H_e = BV^m \quad (4.27)$$

Laminar harakat uchun chiziqli qarshilik qonuni o'rinli bo'lib, (4.27) da $m = 1$ bo'ladi, ya'ni $He = B_1 V$.

Turbulent harakatda qarshilik qonuni butunlay boshqacha bo'lib, gidravlik silliq g'adir-budir quvurlar uchun turlichadir. Silliq quvurlar uchun $m = 1,75$ va

$He=B_2V^{1,75}$, g`adir-budir quvurlar uchun esa $m=2$ va $He=B_3V^2$ (gidravlik qarshilikning kvadratik qonuni deyiladi).

Bu qonunlarning qo`llanilishiga qarab Nikuradze grafigidagi uchinchi zona quyidagi sohalarga ajraladi.

Birinchi soha "gidravlik silliq quvurlar sohasi" bo`lib, bu sohada Reynolds soni 100000 dan kichik bo`lganda λ II to`g`ri chiziq bilan ifodalanadi, $Re > 100000$ da egri chiziq bilan ifodalanib, II to`g`ri chiziqning davomi sifatida ko`rinadi. Murin grafigida bu egri chiziq eng pastki chiziqqa to`g`ri keladi.

Birinchi sohada:

a) Re ning 100000 gacha qiymatlarida tezlik ϑ ning 1,75 ($m=1,75$) darajasiga proporsional;

b) He barcha chiziqlar bitta to`g`ri chiziq bilan birlashib ketgani uchun g`adir-budirlikka bog`liq emas (ya'ni quvur devoridagi do`ngliklar laminar qavat ichida qoladi);

v) He , 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 kvadratgacha qarshilik sohasi deyiladi. II to`g`ri chiziqdan ajralib chiqqan boshlagan chegarada  $m=1,75$  bo`lib, punktir chiziqdan o`ngda  $m=2$  bo`ladi. Bu oraliqdagi chiziqning 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.

$$\lambda = f(Re, \varepsilon) \quad (4.28)$$

Uchinchi soha g`adir-budir quvurlarning kvadratik qarshilik sohasi bo`lib, u punktir chiziqdan o`ng tomonida joylashadi, turli g`adir-budirliklar uchun tuzilgan tajriba chiziqlarining barchasi $lgRe$ o`qiga parallel joylashadi.

Bu sohada:

a) bosimning pasayishi tezlik kvadratiga proporsional;

b) λ koeffitsiyent Reynolds soniga bog`liq emas;

v) He va λ faqat nisbiy g`adir-budirlikka bog`liq.

4.10. 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'zgarish qonunini emperik formulalar bilan ifodalashga juda ko'p mualliflarning ishlari bag'ishlangan. Misol uchun silliq quvurlar sohasida Blazius (4.23), P.K.Konakov (4.24) va L. Prandtl (4.25) 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 zonalariga umumiy bo'lgan formulani taklif qiladi.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,5}{\text{Re}} \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,7} \right). \quad (4.29)$$

Bu formulani g'adir-budir quvurlarning kvadratik qarshilik sohasi uchun soddalashtirsak, g'adir-budir quvurlar uchun Prandtl formulasi ko'rinishiga keladi:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\lg \frac{\varepsilon}{3,7} \right)^2} \quad (4.30)$$

Kvadratik qarshilik sohasi uchun eng ko'p tarqalgan formulalardan biri Nikuradze formulasi hisoblanadi:

$$\lambda = \frac{1}{(1,74 - 2 \lg \varepsilon)^2} \quad (4.31)$$

Turbulent tartibning barcha sohalarida o'z ichiga oluvchi va hisoblash ishlarida (4.29) ga ko'ra qulayroq formulani A.D. Altshul tajribalariga asoslanib, λ ning keng sohasi uchun o'rinli formula taklif qildi.

$$\lambda = 0,11 \left(\varepsilon + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (4.32)$$

Bu formula nazariy asosga ham ega va A.D. Altshul tajribalariga asosan xususiy hollarda sodda ko'rinishlarga keladi:

1) $\text{Re} < \frac{10}{\varepsilon}$ bo'lganda, silliq quvur bo'ladi va (6.32) Blazius formulasiga aylanadi:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}.$$

2) $\frac{10}{\varepsilon} < \frac{500}{\varepsilon}$ bo'lganda, λ ga Re ham, ε ham ta'sir ko'rsatadi va kvadratgacha qarshilik sohasiga to'g'ri keladi. Bu holda (4.32) soddalashmaydi.

3) $\text{Re} > \frac{500}{\varepsilon}$ bo'lganda, esa kvadratik qarshilik sohasi bo'lib, (4.52) Shiferson formulasi deb ataluvchi quyidagi formulaga aylanadi:

$$\lambda = 0,114 \sqrt{\varepsilon}. \quad (6.33)$$

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 (4.6-rasm).

$$\lambda = \frac{8}{\text{Re}} \frac{\chi I_0(x)}{I_2(x)}; 0 \leq \text{Re} \leq 10^6, \quad (4.34)$$

bu yerda I_0, I_2 - mavhum argumentli Bessel funktsiyalari

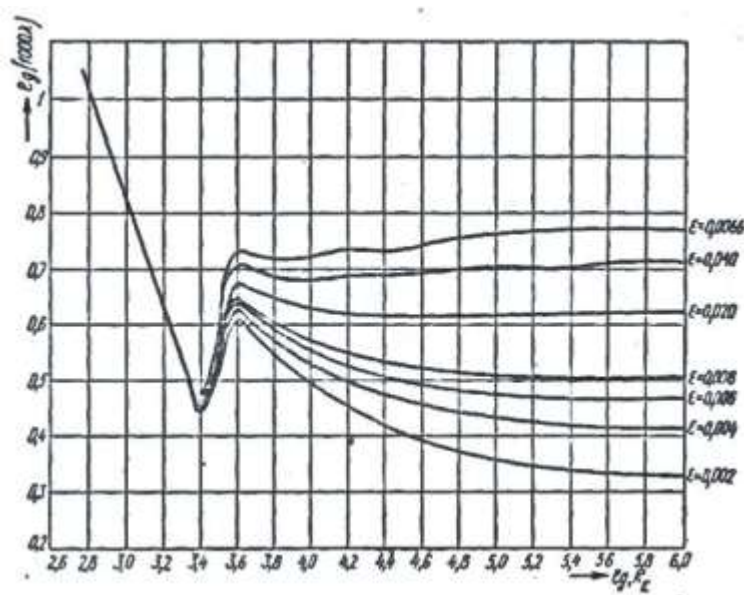
$$x^2 = 0,0025 \frac{1+b \text{Re}}{1+a \text{Re}} \left[1 - \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-y_0)^2}{2\tau^2}} \right]$$

$$a = 10^{-4}, b = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^{0,2974} 10^{-4}, \sigma = 0,43$$

$$y = \left(\frac{\text{Re}}{a_n} \right)^n; y_0 = \left(\frac{\text{Re}_{\hat{e}r}}{a_n} \right)^n;$$



K.Sh. Latipov



$$a_n = 3500; n = 3$$

4.8-rasm. λ ning (6.34) formula bo'yicha hisoblangan grafigi.

4.11. 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 (4.20) ko'rinishida yoziladi.

$$H_e = \lambda \frac{l}{4R} \frac{g^2}{2g}.$$

Nosilindrik quvurlarda harakat tartibi ham gidravlik radius orqali ifodalangan Reynolds soni

$$Re' = \frac{94R}{\nu}$$

yoki aytilgan quvurlar uchun qabul qilingan Reynolds soni bo'yicha hisoblanadi.

$$Re' = \frac{Re}{4} = \frac{9R}{\nu}$$

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

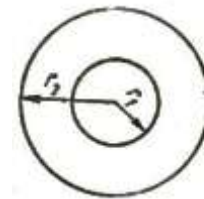
$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{r_2 - r_1}{2};$$

2) teng tomonli uchburchak quvur

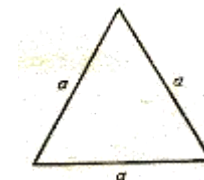
a) harakat kesimi

$$\omega = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4};$$

b) ho'llangan perimetr $\chi = 3a$;



6.9-rasm. Halqasimon quvurning kesimi



6.7-rasm. Teng tomonli

uchburchak quvurning kesimi.

v) gidravlik radius $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{a}{4\sqrt{3}}$;

3) to'g'ri to'rtburchak quvur

a) harakat kesimi

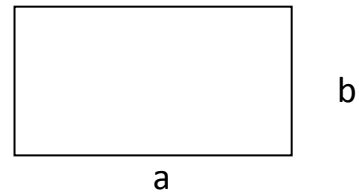
$$\omega = ab$$

b) ho'llangan perimenter

$$\chi = 2(a + b)$$

v) gidravlik radius

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{ab}{2(a + b)}$$



6.8-rasm. To'g'ri to'rtburchak quvurning kesimi

Nosilindrik quvurda turbulent harakat qilayotgan suyuqlik uchun Darsi ko'effitsiyenti yuqorida keltirilgan formulalar bo'yicha hisoblanib, Reynolds soni Re o'rniga unga teng bo'lgan $4R$ 'e miqdor qo'yiladi. Nisbiy g'adir-budirlik esa $\varepsilon = \frac{\Delta}{D} = \frac{\Delta}{4R}$ 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, avvalgidek 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 ($\rho = 950 \text{ kg/m}^3$)

Yechimi: Jadvaldan harorati $t = 50^\circ\text{C}$ bo'lgan motor moyining kinematik yopishqoqlik ko'effitsiyentini $\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$ deb olamiz.

Suyuqlik sarfini u holda quyidagicha aniqlaymiz:

Suyuqlik harakat rejimi laminar ekanligini inobatga olib, Puazeyl qonuni asosida bosimning kamayishini aniqlaymiz:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{128\nu\ell \cdot Q}{\pi d^4}$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi d^4}{128\nu\rho\ell} = \frac{(3,5 \cdot 10^6 \text{ Pa} - 3,14 \cdot (0,020 \text{ m})^4)}{128 \cdot 0,3 \cdot 10^4 \cdot 890 \cdot 50} = 0,49 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$$

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-budirliigi $\Delta = 0,1$ mm.

2. Sug'orish 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.

IV 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?

V 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.

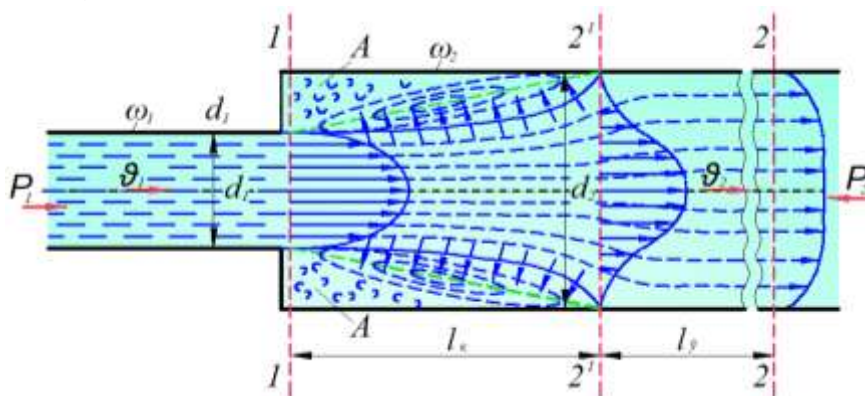
5.1. Mahalliy qarshilikning asosiy turlari. Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti

Mahalliy qarshilikning juda ko'p turlari mavjud bo'lib, bularning har biri uchun bosimning pasayishi turlichadir. Amaliy hisoblashlarda mahalliy qarshiliklarda bosimning pasayishini solishtirma kinetik energiyaga proporsional qilib olinadi:

$$H_M = \zeta \frac{g^2}{2g}$$

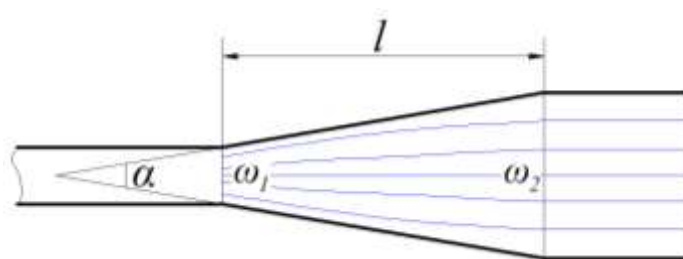
Proportsionallik koeffitsiyenti ξ mahalliy qarshilik koeffitsiyenti deb ataladi va asosan tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Mahalliy qarshiliklarning asosiy turlari haqida to'xtalib o'tamiz.

1) Keskin kengayish (5.1-rasm). Mahalliy qarshilikning bu turida ξ koeffitsiyent kesimlarning o'zgarishiga bog'liq bo'lib, kesimlar - $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ 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 ($V_2 < V_1$).



5.1-rasm. Keskin kengayish.

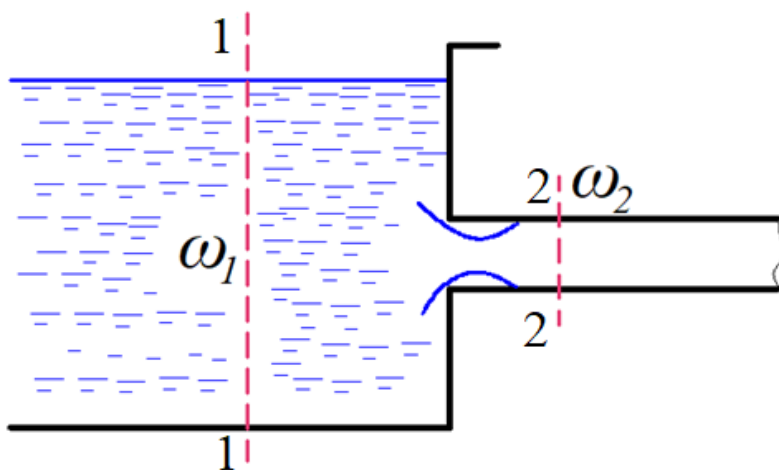
2) Tekis kengayish (5.2-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti kesimning o'zgarishiga va konuslik burchagi α ga bog'liq bo'lib, kesimlar nisbati $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ ning kamayishi va α ning ortishiga qarab ortadi.



5.2-rasm. Tekis kengayish.

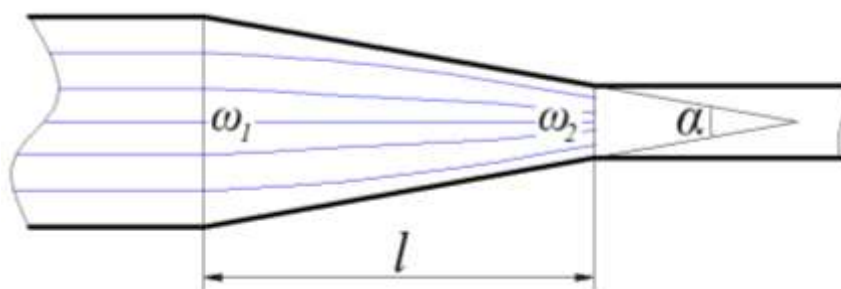
Avval ko`rilgandagi kabi 2-2 kesimda 1-1 kesimdagiga nisbatan bosim ortadi ($p_2 > p_1$) va tezlik kamayadi ($v_2 < v_1$).

3) Keskin torayish (5.3-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ξ kesimlar o`zgarishiga bog`liq bo`lib, ularning nisbati ortishi bilan ortadi. Bu holda energiyaning sarf bo`lishi keskin kengayishiga nisbatan kam bo`ladi.



5.3-rasm.Keskin torayish.

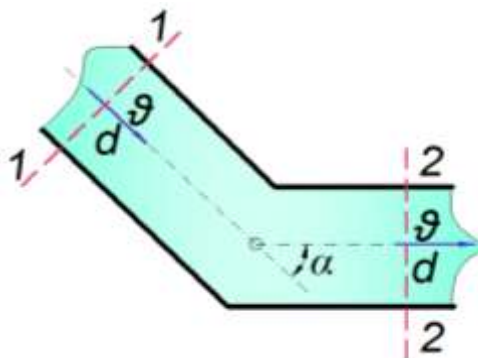
4) Tekis torayish (5.4-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti kesimlar nisbati $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ ning va konuslik burchagining ortishi bilan ortadi. Keskin torayishda ham, tekis torayishda ham 2-2 kesimda 1-1 kesimga nisbatan bosim kamayib ($p_2 < p_1$), tezlik ortadi ($v_2 < v_1$).



5.4-rasm.Tekis torayish.

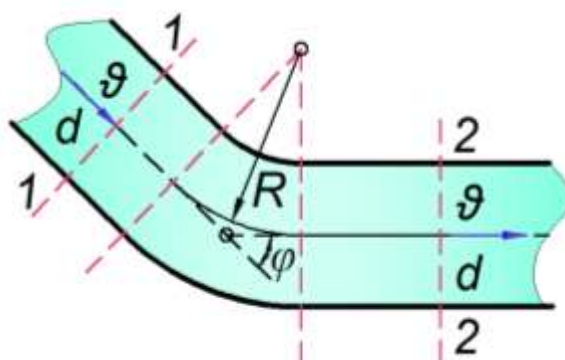
1) **Tirsak** (5.5-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ikki quvurning tutashish burchagiga bog`liq bo`lib, bu burchakning ortishi bilan ortadi.

ξ ning φ ga bog`liqligi asosan tajribada tekshirilgan bo`lib, ba'zi sodda hollari oqimchalar nazariyasida ko`rilgan.



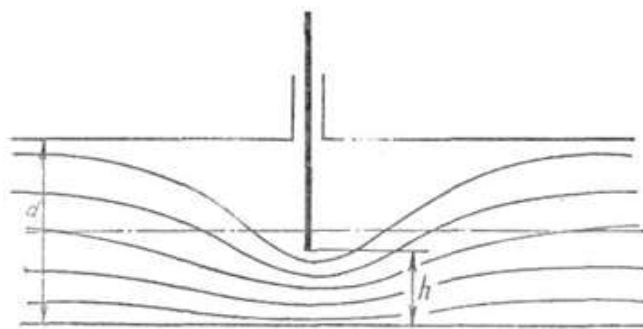
5.5-rasm.Tirsak

6) **Burilish** (5.6-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti burilish burchagi φ va quvur diametrining burilish radiusi R_b ning nisbatiga bog`liq bo`ladi. Burilishda ξ quvur diametrining burilish radiusiga nisbati $\frac{D}{R_b}$ ortishi bilan ortib boradi.



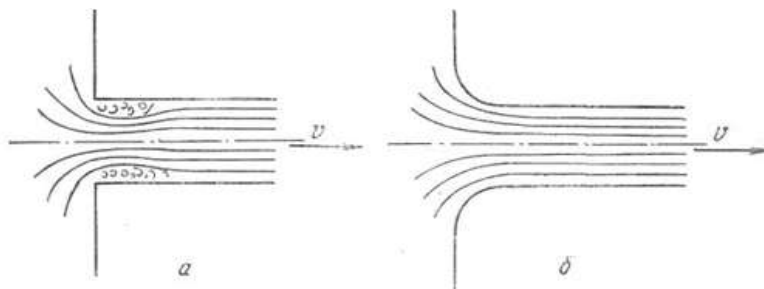
5.6-rasm.Burilish.

7) **Quvurga kirish** (5.7-rasm). Agar quvur biror suyuqlik bilan to`la idishga tutashtirilgan bo`lsa, u holda kirishdagi o`tkir burchaklarini (5.7-rasm, a) aylanib o`tish uchun suyuqlik energiyasi sarf bo`ladi. Bu holda mahalliy qarshilik koeffitsiyentining qiymati:  $\xi = 0,5$ . Kirishdagi o`tkir burchaklar silliqalanib, quvurga suyuqlik kirishiga kam qarshilik ko`rsatadigan shakl berilgan bo`lsa, ξ ning miqdori kirishning silliqlik darajasiga qarab $\xi = 0,04 \div 0,10$ oralig`ida bo`ladi (ko`p hollarda o`rtacha $\xi = 0,08$ qabul qilinadi).



5.7-rasm. Quvurga kirish

8) Diafragma. Quvurga o`rnatiladigan va suyuqlik sarfini o`lchash uchun ishlatiladigan o`rtasi teshik disk diafragma aytiladi (5.8-rasm). Bu holda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti quvurning kesimi  $S_1$  va diafragma teshigi kesimi  $\omega_0$  ning nisbati  $\frac{\omega_0}{\omega_1}$  ga bog`liq bo`ladi va bu nisbatning ortishi bilan kamayib boradi (5.1-jadval).



5.8-rasm. Berkitgich.

5.1-jadval.

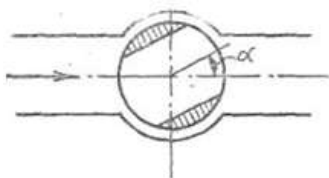
Diafragma uchun qarshilik koeffitsiyentiining o`zgarishi

$\frac{\omega_0}{\omega_1}$	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

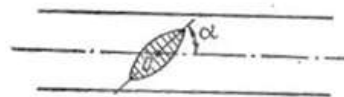
9) Berkitgich (zadvijka). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti eshikchaning (5.8-rasm) ochilish darajasiga bog`liq bo`lib, uning ochilishi kattalashishi bilan kamayib boradi. Uning o`rtacha ochilishiga  $\xi = 2,0$  to`g`ri keladi.

**10) Drossel klapan (5.9-rasm) va tiqin-jo`mrak (5.10-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 $\xi = 2 \div 53$.



5.9-rasm. Drossel klap.



5.10-rasm. Tiqin jo'mrak.

Tiqin-jo'mrak uchun $\xi = 2 \div 33$ atrofida bo'ladi. Bulardan tashqari, ventillar, jo'mraklar va boshqalarda ham mahalliy qarshilikning kamayishini kuzatish mumkin.

5.2. Reynolds sonining katta qiymatlari uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti

Biz mahalliy qarshiliklarni vujudga keltiruvchi to'siqlarning turlari to'g'risda 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 Re soniga bog'liqligi juda ham sezilarsiz 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.

5.3. Quvurning keskin kengayishi (Bord teoremasi)

Quvurning keskin kengayishi va bunda oqimning taxminiy sxemasi 5.1-rasmda 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 (uyurmali) 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 v_1 , bosim p_1 2-2 kesimda esa tezlik v_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 S_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

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{g_2^2}{2g} + h_{keng} \quad (5.2.)$$

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'riqlashni taxminan nolga teng deb olib, aytilgan hajmga ta'sir qilayotgan tashqi kuchlar impulsini hisoblaymiz. 1-1 kesimni quvur kengayish kesimining ustida olingan deb qarash mumkin. U holda silindr asoslarining yuzalari tengligidan ularga ta'sir qiluvchi impul's o'zgarishi shunday yoziladi

$$(p_1 - p_2)\omega_2$$

1-1 kesimdagi harakat miqdori $\rho Q \vartheta_1$ va 2-2 kesimdagi harakat miqdori $\rho Q V_2$ bo'lgani uchun ular orasidagi harakat miqdorining o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi.

$$\rho Q(g_2 - g_1).$$

Bu ikki miqdorni tenglashtirib, ushbu tenglamani olamiz:

$$(p_1 - p_2)\omega_2 = \rho Q(g_2 - g_1).$$

Tenglamani ikki tomonini $\omega_2 \gamma$ ga bo'lsak u holda $Q = \omega_2 \vartheta_2$ ni hisobga olib, ushbu tenglamani olamiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\rho Q}{\gamma \omega_2} (g_2 - g_1) = \frac{g_2}{g} (g_2 - g_1). \quad (5.3)$$

Oxirgi tenglamani $(\vartheta_2 - \vartheta_1)$ hadi ustida quyidagi amallarni bajaramiz

$$g_2(g_2 - g_1) = g_2^2 - g_2 g_1 = \frac{g_2^2}{2} + \frac{g_2^2}{2} - \frac{2g_1 g_2}{2} + \frac{g_1^2}{2} - \frac{g_1^2}{2}$$

U holda (7.3) tenglama ushbu ko'rinishga keladi

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{g_2^2}{2g} - \frac{g_1^2}{2g} - \frac{2g_1 g_2}{2g} + \frac{g_2^2}{2g} + \frac{g_1^2}{2g} = \frac{g_2^2}{2g} - \frac{g_1^2}{2g} + \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g}.$$

Oxirgi tenglama hadlarini bir xil indekslar bo'yicha guruhlasak,

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{g_2^2}{2g} + \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g}.$$

Bu tenglamani (5.2) bilan solishtirsak, quyidagi kelib chiqadi

$$H_M = h_{keng} = \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g} \quad (5.4)$$

Olingan (5.4) formula *Bord formulasi* deyiladi.

Bu formulaga asosan bosimning keskin kengayishdagi pasayishi tezlik kamayishi kvadratining ikkilangan erkin tushish tezlanishiga nisbatiga teng (Bord teoremasi).

Endi, (5.4) formulaga uzilmaslik tenglamasini qo'llasak,

$$g_1 \omega_1 = g_2 \omega_2 \quad \text{ёки} \quad g_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} g_1$$

quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$H_M = \left(g_1 - \frac{\omega_1}{\omega} g_1 \right)^2 \frac{1}{2g} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \frac{g_1^2}{2g}$$

Bu munosabatni (5.1) ga solishtirib, keskin kengayish uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti formulasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\zeta = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2. \quad (5.5)$$

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

$$H_M = \frac{g_1^2}{2g}.$$

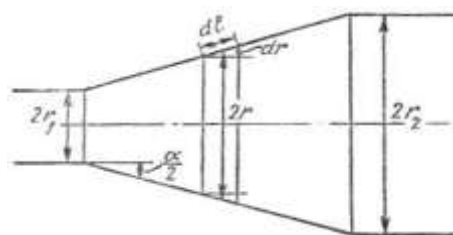
Bu xususiy holda oqimning butun kinetik energiyasi mahalliy qarshilikning yengish uchun sarf bo'ladi.

Shuni aytish kerakki, ko'rilgan holdagi energiyaning hammasi quvurning keskin kengaygan qismida oqimning quvur sirtidan ajrashi hisobiga hosil bo'lgan aylanma harakatning vujudga kelishiga va uning yangilanib turishiga sarf bo'ladi.

5.4. Diffuzorlar

Tekis kengayib boruvchi quvurlar (5.11-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 sarf bo'layotgan energiya ham ortadi. Bundan tashqari diffuzorda ishqalanish kuchini ham hisobga olish mumkin.



5.11-rasm. Diffuzorlarda bosimning kamayishini hisoblashga doir chizma.

Shunday qilib, diffuzorlarda bosimning pasayishi ikki yig'indidan iborat deb qaraladi

$$h_{dif.} = H_M = h_i + h_{keng},$$

bu yerda h_i - bosimning ishqalanish hisobiga pasayishi; h_{keng} - 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 d_l bo'lgan elementar silindrik naychalardan tashkil topgan deymiz (5.11-rasm). U holda har bir elementar naycha uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

$$dh_i = \lambda_i \frac{dl}{2r} \frac{\vartheta^2}{2g}$$

ϑ - ixtiyoriy ko'rilayotgan kesimdagi o'rtacha tezlik va ixtiyoriy kesim yuzasi $S = \pi r^2$ ga teng desak;

$$dl = \frac{dr}{\sin \frac{\alpha}{2}} \text{ va } \vartheta = \frac{\omega_1}{\omega_2} \vartheta_1 = \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 \vartheta_1$$

ni hisobga olib

$$dh_i = \lambda_u \frac{dr}{2r \sin \frac{\alpha}{2}} \left(\frac{r_1}{r} \right)^4 \frac{\vartheta_1^2}{2g}$$

formulani keltirib chiqaramiz.

Bu tenglikda dr (ya'ni d_l) ni nolga intiltirib borsak, bosimning ishqalanish hisobiga kamayishni tenglikning chap tomondan 0 dan h_i gacha, o'ng tomonidan r_1 dan r_2 gacha integral olish yo'li bilan hisoblaymiz:

$$h_i = \lambda_i \frac{r_1^4}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \frac{\vartheta_1^2}{2g} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^5} = \frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^4 \right] \frac{\vartheta_1^2}{2g}. \quad (5.6)$$

Kengayish hisobiga bosimning pasayishini hisoblash uchun keskin kengayishdagi (5.4) formuladan foydalanamiz va bunda diffuzor keskin kengayishini taxminiy ifodalangani uchun k koeffitsiyent kiritamiz. U holda

$$h_{keng} = k \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g} = k \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \frac{g_1^2}{2g}. \quad (5.7)$$

k – tajribada aniqlanadigan koeffitsiyent bo`lib,  $5 - 20^0$  konuslik burchagiga ega bo`lgan diffuzorlar uchun I.E. Idelshikning tajribadan aniqlangan formulasi bo`yicha

$$k = 3,2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}.$$

Flingerning taxminiy formulasi bo`yicha ga teng.

$$k = \sin \alpha$$

Buni hisobga olib (5.6) va (5.7) yig`indisidan quyidagini olamiz:

$$H_M = h_{dif} = \left[\frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2 \right] \frac{V_1^2}{2g} = \zeta_{dif} \frac{V_1^2}{2g}, \quad (5.8)$$

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:

$$\zeta_{dif} = \frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2. \quad (5.9)$$

Bu formuladan ko`rinadiki, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti  $\lambda_u$  konuslik burchagi va kengayish darajasiga bog`liq ekan.

(5.9) dan ko`rinib turibdiki,  $\alpha$  ning  $n$  ning ortishi bilan ( $\lambda_u$  o`zgarmas bo`lganda) yig`indining birinchi hadi kamayadi, ya'ni ishqalanish kuchining ta'siri kamayib, diffuzor kaltalashadi va uyurmalarining ta'siri ko`payadi,  $\alpha$  kamayganda esa (o`zgarmas kengayish darajasi n da) ishqalanish kuchi ortib, uyurmalar kamayadi.

Hisoblashlarda odatda $\lambda_i - 0,015 \div 0,025$ deb olinadi. Bu holda, eng qulay diffuzor uchun nazariy yo`l bilan kengayish darajasi  $n = 2 : 4$  ni keltirib chiqaramiz. Bu konuslik burchagi  $\alpha = 6^0$  ga to`g`ri keladi.

Amalda diffuzorning uzunligini kamaytirish uchun n va α biroz kattaroq qilib, $\alpha = 7^0 \div 9^0$ atrofida olinadi.

5.5. Quvurlarning torayishi

Keskin torayishda (5.3-rasm) kesimlar nisbati bir xil boʻlgan keskin kengayishga nisbatan kamroq energiya sarf boʻladi. Bu holda energiyaning sarf boʻlishiga tor quvurga kirishdagi ishqalanish kuchi va uyurmalar paydo boʻlish sababdir. Uyurmalarining paydo boʻlishi esa oqimning tor quvurga kirish oldidagi burchakni aylanib oʻta olmay, keng quvur sirtidan ajralishiga va torayishiga, natijada quvur devori va oqim orasida juda sekin harakatlanuvchi uyurmali oqim paydo boʻlishiga olib keladi. Oqimning torayishi u tor quvurga kirganda ham davom etadi va soʻngra kengayadi. Bu davrda gidravlik yoʻqotish keskin kengayishdagi kabi aniqlanadi. Shunday qilib, bosimning toʻliq pasayishi quyidagiga teng boʻladi:

$$H_M = h_{tor} = \zeta_0 \frac{g_t^2}{2g} + \frac{(g_t - g_2)^2}{2g} = \zeta_{tor} \frac{g_2^2}{2g}, \quad (5.10)$$

bu yerda: ζ_0 – tor quvurga kirishdagi ishqalanishni aniqlovchi qarshilik koefitsiyenti; V_t - toraygandagi tezlik.

Keskin torayishning qarshilik koefitsiyenti torayish darajasi $n = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ ga bogʻliq va I.E. Idelshik tomonidan taklif qilingan quyidagi yarim empirik formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$\zeta_{tor} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right). \quad (5.11)$$

Formulalardan koʻrinib turibdiki, $\frac{1}{n} \approx 0$ deb hisoblash mumkin boʻlsa, yaʼni katta idishdan quvurga kirish holida, agar kirish burchagi silliqlangan boʻlmasa, qarshilik koefitsiyenti (1.70-rasm) $\zeta_{tor} = 0,5$ boʻladi. Kirish burchagi (kirish qirasi) silliqlangan boʻlsa, qarshilik kuchi kamayadi.

Tekis torayish (5.11-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 boʻlishi va diffuzordagi kabi oqimning sirtidan ajralishiga hech qanday sabab yoʻq. Shuning uchun konfuzorda energiya faqat ishqalanishga sarf boʻladi. Shunday qilib, konfuzordagi qarshilik kuchi xuddi shunday diffuzordagiga qaraganda kichik boʻladi.

Konfuzordagi bosimning pasayishini diffuzordagi kabi elementar boʻlaklarga boʻlib, soʻngra integrallab hisoblash mumkin. Shu usul bilan quyidagi formulani olamiz:

$$H_M = \frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \frac{g_2^2}{2g} \quad (5.12)$$

bu yerda n - torayish darajasi.

Tor quvurga kirishda oqimning devordan ajralishi va ozroq uyurma hosil bo'lishi kuzatiladi. Bu uyurmani yo'qotish uchun ba'zan konussimon quvurning silindrik quvurga tutashgan joyiga ma'lum shakl berilib, silliq tutashtiriladi. Bunday tutashtirilgan quvurlar soplo deyiladi.

5.6. Tirsaklar

Quvurlarning keskin burilishi yoki tirsaklarda (5.5-rasm), odatda anchagina miqdorda energiya sarf bo'ladi. Tirsaklarda energiya sarfiga oqimning (quvur sirtidan) ajralishi va uyurmalar yuzaga kelishi sabab bo'lib, φ burchak qancha katta bo'lsa, sarf ham shuncha ko'p bo'ladi.

Silindrik quvurlardagi tirsaklarda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ζ_{tr} burchak ning 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:

$$\zeta_{tr} = 0,946 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\varphi}{2}. \quad (5.13)$$

Energiya sarfi katta bo'lgani uchun keskin burilishli tirsaklarni quvurlarda qo'llash tavsiya etilmaydi.

Quvurlardagi burilishlarni (5.6-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:

$$\zeta_b = \left[0,131 + 0,163 \left(\frac{D}{R_b} \right)^{3,5} \right] \frac{\varphi}{90^\circ}. \quad (5.14)$$

$\varphi = 90^\circ$ va $\frac{R_b}{D} \geq 1$ bo'lganda, tajribadan olingan quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$\zeta_b \approx \zeta'_b \approx 0,051 + 0,19 \frac{D}{R_b} \quad (5.15)$$

Burchak $\varphi \leq 70$ bo'lganda, qarshilik koeffitsiyenti

$$\zeta_b \approx 0,9 \sin \varphi \zeta'_b$$

ga, $\varphi \geq 100$ da esa quyidagiga teng.

$$\zeta_b = \left(0,7 + \frac{\varphi 0,35}{90^\circ} \right) \zeta'_b \quad (5.16)$$

Burilishdagi bosimning pasayishi qarshilik koeffitsiyenti aniqlashga keladi

$$H_M = h_b = \xi_b \frac{g^2}{2g}$$

va u to'liq gidravlik yo'qotish bilan ishqalanishga, yo'qotishning ayirmasiga teng, ya'ni quvur egriligi hisobiga paydo bo'lgan qarshiliknigina ifodalaydi.

Tirsaklarda 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.

5.7. 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:

$$\zeta = \frac{A}{Re} + B \quad (5.17)$$

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 proportsional 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:

$$\zeta = \frac{C}{Re^m}$$

bu yerda: C va m - mahalliy qarshilikning qaysi ko'rinishida bo'lishiga bog'liq koeffitsiyentdir.

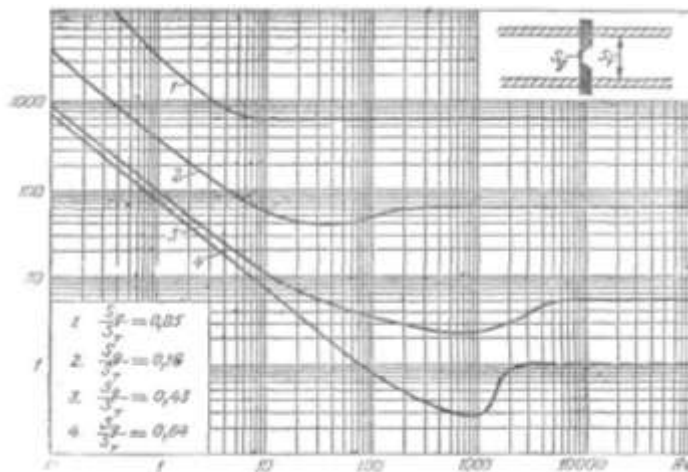
F.P.Tolstolesovning tajribalari bo'yicha $m = 0,285$ bo'lib,

$$\zeta = \frac{C}{Re^{0,285}}.$$

"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.



5.12-rasm . Kichik Re da mahalliy qarshilik

Misol sifatida 5.12-rasmida diafragmalar uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyentining Re ning o'zgarishi bo'yicha o'zgarib borishini to'rtta diafragma uchun keltirilgan.

Bu rasmdan Reynolds sonining kichik qiymatlarida $\lg \zeta, \lg Re$ ga chiziqli bog'liq bo'lib, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti 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:

$$H_M = \zeta_M \frac{g^2}{2g} = \lambda \frac{l_{kv}^e}{D} \frac{g^2}{2g} \quad (5.19)$$

Bundan ekvivalent uzunlik uchun formula chiqaramiz:

$$l_{kv} = \zeta_M \frac{D}{\lambda} \quad (5.20)$$

Ekvivalent uzunlikni turli mahalliy qarshiliklar uchun, odatda, tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

5.8. Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitatsiya hodisasi

Suyuqliklarda gazlarning erishi haqida soʻz yuritilganda biz kavitatsiya hodisasi ustida toʻxtalib oʻtdik va kavitatsiya hodisasi suyuqliklarda agregat holatining oʻzgarishi bilan bogʻliq ekanligi koʻrsatiladi. Unda kavitatsiya hodisasi bosimning kamayishi yoki temperaturaning ortishiga bogʻliq ekanligi aytilgan edi. Mahalliy qarshiliklarda temperatura oʻzgarmay, oqim kesimining oʻzgarishi natijasida suyuqlikda erigan gazlarning miqdori oʻzgaradi. Suyuqliklarning zichligi (yoki solishtirma hajmi) deyarli oʻzgarmagani uchun unda erigan gazlarga Boyl-Mariot qonunini qoʻllash mumkin boʻladi.

$$pV = RT$$

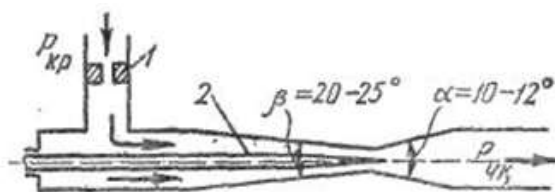
bu yerda p - bosim, V - solishtirma hajm, T - absolyut temperatura, R - gaz doimiysi.

Suyuqlik oqimlarida temperatura oʻzgarmagani va koʻndalang kesim kichrayganda bosim ortib, kesim kattalashganda bosim kamaygani uchun mahalliy torayish mavjud joylarda tezlik ortib, bosim kamayadi (masalan, keskin torayish, konfuzor, joʻmraklar, teshikchalar, diafragmalar va h. k.). Agar bu yerda absolyut bosim suyuqlikning toʻyingan bugʻlarining shu temperaturadagi portsial bosimga teng boʻlsa, u holda bugʻlanish va erigan gazlarning ajralish hodisasi yoki mahalliy qaynash hodisasi roʻy beradi. Torayishdan keyin kengayish boshlanishi bilan bosim ortib, qaynash toʻxtaydi va ajralgan bugʻlar kondensatsiyalanib, gazlar eriydi, ya'ni kavitatsiya hodisasi yuz beradi. Kavitatsiya hodisasi yuqori chastotali mahalliy kichik gidravlik zarbalarning kelib chiqishiga sabab boʻladi. Bu hodisa gidrosistemalarda odatdagi tartibning buzilishiga, ayrim hollarda esa, uning qismlarining ishdan chiqishiga sabab boʻladi, 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 koʻtarishdan iborat. Lekin bu usul bosimning pasayish darajasi yuqori boʻlganda koʻp foyda bermaydi, ammo kavitatsiyaning zararli taʼsirini kamaytirishga yordam beradi.

5.9. Kavitatsiyadan amalda foydalanish

Kavitatsiya hodisasidan amalda foydalanish ham mumkin. Xususan bu hodisani sarfini stabillash maqsadida Venturi soplolaridan foydalanishda koʻrish mumkin (5.13-rasm). Kirishdagi bosim p_{kr} oʻzgarmagan holda, chiqishdagi bosim p_{chq} kamayishi bilan oqimning tezligi va sarfi ortadi.



5.13-rasm. Kavitatsiya hodisasidan sarfni barqarorlashda foydalanish uchun qurilma

Lekin tezlik ortishi bilan soplning toraygan qismida bosim kamayadi. Bu bosim kavitatsiyaning boshlanishiga olib keluvchi bosim miqdoriga tenglashsa yoki undan kamaysa, 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_{chq} ning kamayishi faqatgina diffuzorda kavitatsiya zonasining kengayib borishiga olib keladi.

Bu voqea gidrosistemalarning chiqish qismida bosim miqdorining o`zgarib turishi hollarida suyuqlik sarfini stabillash uchun kerak bo`ladi.

Ko`rilayotgan qurilmada (5.13-rasm) sarfni o`lchash bo`lib, u sarf o`zgarishining katta diapazonlarida $\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \geq 10$ uni boshqarishga yordam beradi. Bu holda kavitatsiya natijasida gidrosistema qismlarining buzilishi holi bo`lmaydi.

5.10. 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 koefitsiyentlari  $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots, \zeta_n$  bo`lsin. Agar quvurning uzunligi z , diametri D va sarfi Q bo`lsa, undagi ishqalanish qarshiligi

$$H_e = \lambda \frac{z}{D} \frac{Q^2}{2g},$$

mahalliy qarshiliklar quyidagicha bo`ladi:

$$H_{M1} = \zeta_1 \frac{g_1^2}{2g}$$

$$H_{M2} = \zeta_2 \frac{g_2^2}{2g}$$

$$H_{M3} = \zeta_3 \frac{g_3^2}{2g}$$

$$H_{Mn} = \zeta_n \frac{g_n^2}{2g}$$

Bularni qo'shib, umumiy qarshilikni topamiz:

$$H = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_n + \lambda \frac{Z}{D} \right) \frac{g^2}{2g} \quad (5.21)$$

Oxirgi munosabatda qavs ichidagi qiymat quvurdagi ishqalanish kuchi, qarshilik va mahalliy qarshilik koefitsiyentlari yig'indisidan iborat bo'lib, sistemaning qarshilik koefitsiyenti deyiladi:

$$\zeta_{sist} = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_n + \lambda \frac{Z}{D} \quad (5.22)$$

Bu holda sistema uchun

$$H = \zeta_{sist} \frac{g^2}{2g}$$

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 avvalgi mahalliy qarshilikdan o'tishdagi hosil bo'lgan turli o'zgarishlar ta'siridan holi bo'lgan (turg'unlashgan) bo'lishi kerak. Masalan, turbulent tartibda oqayotgan suyuqlik, laminar oqimli quvurga kirgandan keyin shunday masofani o'tishi kerakki, bunda tezlikning laminar oqimga tegishli taqsimlanishi 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_{ct} quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$l_{st} = 0,693 Re^{0,25} D$$

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 $l \leq (10 \div 20)D$ 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: I. Quvurdagi oqim tezligi:

$$g = \frac{4Q}{\pi d^2} = 0,53 \text{ m/s}$$

Suyuqlikning harakat rejimini aniqlaymiz: jadvaldan $t = 20^{\circ}\text{C}$ haroratdagi benzinning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti $\nu = 0,75$ mm²/s.

Reynolds soni:

$$\text{Re} = \frac{gd}{\nu} = 177 \cdot 10^3$$

demak, harakat rejimi turbulent.

U holda gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,02.$$

Bosimning yo'qolishi:
$$\Delta P = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{\rho V^2}{2} = 11,8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

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 $l=5$ km, diametri $d = 20$ sm bo'lgan po'lat quvurdan harorati $t = 20^{\circ}\text{C}$ bo'lgan suv oqib chiqmoqda. Agar quvurdan o'tayotgan suv sarfi $Q=20$ l/s bo'lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini aniqlang.

2. Yuqoridagi masalada suv o'rniga neft oqib o'tayotgan bo'lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti qanday bo'ladi?

3. Laboratoriya sharoitida po'lat quvurning gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini 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 sarfni 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 koeffitsiyentini aniqlang.

4. Agar po'lat quvurni a) cho'yan; b) polietilen; v) asbestotsement quvurlar bilan almashtirsak pezometrda suyuqliklar sathining farqi o'zgaradimi?

V bob bo'yicha nazorat savollari

1. Mahalliy qarshilikning asosiy turlari.
2. Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti
3. Bord teoremasi ta'rifi.
4. Tirsaklar
5. Kavitatsiya hodisasi
6. Mahalliy qarshiliklarning o'zaro ta'siri

VI BOB. SUYUQLIKLARNING TESHİK VA NAYCHALARDAN OQISHI

Texnikada juda ko'p hollarda suyuqliklarning tor va kalta 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 gidrouzatmalarda 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.

6.1. Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o'zgarmas bosimda oqishi

Biror katta idishda suyuqlik p_1 bosim ostida saqlanayotgan bo'lib, u ozod sirtidan H_a masofadagi kichik teshikdan oqayotgan bo'lsin (6.1-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 (6.1-rasm, b) o'rinli bo'ladi.

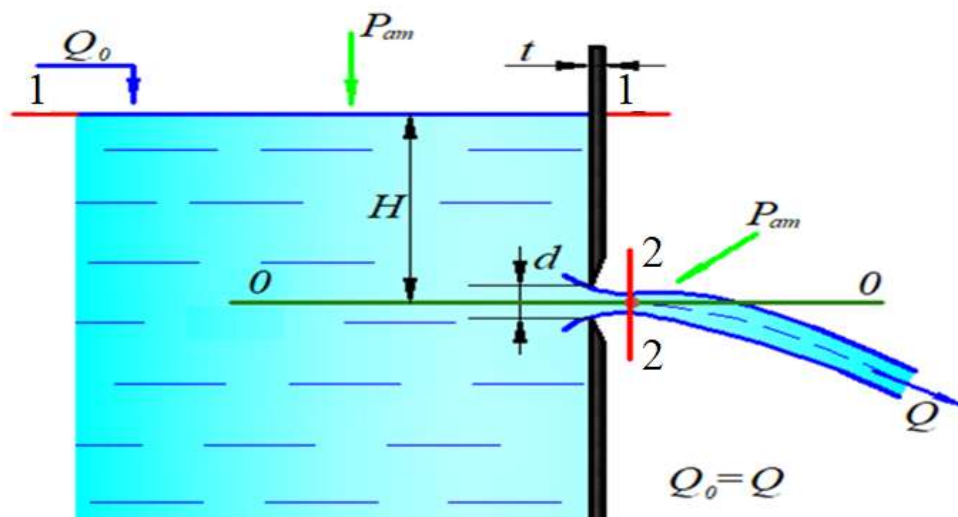
Bu holda suyuqlik zarrachalari teshik atrofidagi hajmdan tashqariga qarab harakat qiladi va teshikka yaqinlashgan sari tezlashib boradi. Shu bilan birga suyuqlikning oqayotgan zarrachalarning barchasi uchun bir xil sharoit bo'lib, ular silliq trayektoriya bo'yicha harakat qiladi va teshik qirrasida idish devoridan ajraladi. Bundan keyingi oqish davomida oqimchaning kesimi bir oz torayadi va silindrik shakl qabul qiladi. Ko'rilayotgan holda asosiy masala teshikdan iborat. Suyuqlikka to'ldirilgan idishda (6.1-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:

$$\frac{g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \zeta \frac{g^2}{2g}. \quad (6.1.)$$

Bundan teshik uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti nolga teng bo'lgan holda $z_1 - z_2 = H$ va $v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2$ ekanligini hisobga olsak, ushbu tenglamani olamiz:

$$\left[1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right) \right] \frac{g_2^2}{2g} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H,$$

bu tenglamadan oqimchaning nazariy hisoblangan tezligi uchun quyidagi munosabat kelib chiqadi:



6.1-rasm. Suyuqlikning teshiklaridan oqib ketishiga doir chizma

$$g_n = g_2 \sqrt{\frac{2g \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}. \quad (6.2)$$

Agar idishning kesimi ω_1 ga qaraganda teshikning kesmi ω_2 juda kichik bo'lsa, u holda

$$g_n = g_2 \sqrt{2g \left(\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H \right)}$$

Idishdagi suyuqlik sirtida ham, teshik tashqarisida ham atmosfera bosimi bo'lsa yoki $p_1 = p_2$ bo'lsa, u holda

$$g_n = g_2 = \sqrt{2gH}. \quad (6.3)$$

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

$$Q_n = g_n \omega_2. \quad (6.4)$$

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.

6.2. 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 inertsiya kuchi ta'sirida ma'lum masofagacha davom etadi. So`ngra esa torayish to`xtab, oqim o`zgarmas ω_c kesimli oqimcha ko`rinishida harakat qiladi. Oqimchaning torayishi taxminan teshik diametriga teng masofada to`xtaydi. Torayishni hisoblash uchun, odatda siqilish koeffitsiyenti ε kiritiladi

$$\varepsilon = \frac{\omega_e}{\omega_2} \quad (6.5)$$

Bu koeffitsiyent yuqorida aytilganlarga asosan biridan kichik va tajribalarda aniqlanishicha $\varepsilon = 0,61 \div 0,64$ atrofida bo`ladi.

Biz teshikdan oqayotgan suyuqlik tezligi uchun formula chiqarishda $\zeta = 0$ deb qabul qilgan edik. Amaldagi tezlikni hisoblash uchun esa (6.1) dagi mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ζ ni hisobga olgan holda quyidagi formulani olamiz

$$g_a = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + h \right)}{1 + \zeta - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}}.$$

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:

$$g_a = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + h \right)}{1 + \zeta}}.$$

Yuqorida ko`rganimizdek, $p_1 = p_2$ hol uchun

$$g_a = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} \sqrt{2gH}. \quad (6.6)$$

Bu formulani (6.3) bilan solishtirsak, amaliy va nazariy tezliklar o`rtasida quyidagi munosabatni olamiz

$$g_a = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} g_n. \quad (6.7)$$

Bundan ko`rinadiki, amaliy tezlik nazariy tezlikdan kichik ekan. Odatda, amaliy tezlikning nazariy tezlikka nisbatini tezlik koeffitsiyenti deb ataladi va φ bilan belgilanadi:

$$\varphi = \frac{g_a}{g_n} \quad (6.8)$$

(6.8) ni (6.7) bilan solishtirish natijasida tezlik koeffitsiyentini hisoblash uchun ushbu formulaga ega bo`lamiz:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}}. \quad (6.9)$$

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  $\zeta \approx 0,06$ ,  $\varphi \approx 0,97 \div 0,98$  bo`ladi.

Teshikdan oqayotgan suyuqlikning amaliy sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q_a = g_a \omega_e$$

(6.5) dan $\omega_c = \varepsilon \omega_2$ bo`lgani uchun (8.8) ni hisobga olib, oxirgi tenglikdan ushbu munosabatni olamiz:

$$Q_a = \varphi g_n \varepsilon \omega_2 = \varphi \varepsilon g_n \omega_1$$

Bu so`nggi formulani (6.4) bilan solishtirib, nazariy va amaliy sarflar uchun quyidagi bog`lanishni olamiz:

$$Q_a = \varphi \varepsilon Q_n = m g_n \omega_2. \quad (6.10)$$

(6.10) dagi $\varphi \varepsilon$ ko`paytmani m bilan belgilaymiz va sarf koeffitsiyenti deb ataymiz

$$m = \varphi \varepsilon \quad (6.11)$$

Bunday xulosa qilib, sarf koeffitsiyenti amaliy sarfning nazariy sarfga nisbatiga teng ekanligini ko`ramiz:

$$m = \frac{Q_a}{Q_n}$$

Yuqorida φ va ε uchun keltirilgan tajriba miqdorlaridan $m \approx 0,60 \div 0,63$ ekanligi ma'lum.

ε , φ , m larning keltirilgan qiymatlari Reynolds sonining katta miqdorlari uchun to`g`ri. Aslini olganda bu koeffitsiyentlar Re ning funksiyasidir.

6.3. Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi

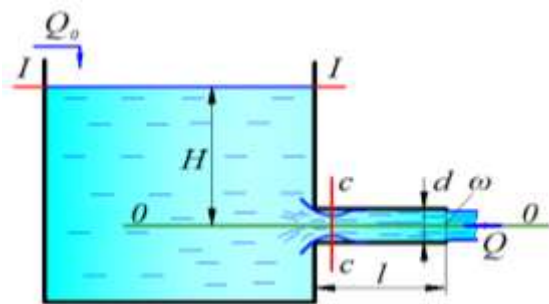
Idish devoridagi teshikka o`rnatilgan kalta quvurlar *naychalar* deb ataladi. Odatda, naychalardan sarfini ko`paytirish yoki ixcham oqimchalar olish uchun foydalaniladi. Ko`p hollarda idish devori qalin bo`lib, u parma bilan teshilganda naycha shaklida teshik paydo bo`ladi.

Naychalardan oqadigan suyuqlikni hisoblashda yuqorida keltirilgan tezlik va sarf formulalardan foydalanamiz, lekin ε , φ , m koeffitsiyentlarning qiymatlari boshqacha bo`ladi.

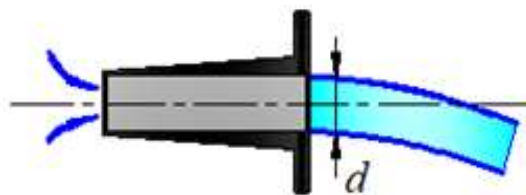
Silindrik naychalardan suyuqlik oqayotganda kirishda u devordan ajraladi va torayadi. Bu hodisa xuddi yupqa devordagi teshikdan oqish holidagi kabi bo`ladi. Lekin bu torayish to`xtab, toraygan oqimcha bilan naycha devori orasida uyurmali harakat vujudga kelganligi sababli kengayish boshlanadi va oqim naychaning butun kesimini egallab olguncha davom etadi. Natijada oqimcha naychaning ko`ndalneg kesimiga teng kesimda chiqib ketadi. Bu hodisa naychaning uzunligi  $l$  uning diametridan  $3\div 4$  marta katta bo`lganda to`liq amalga oshadi (6.2-rasm, a).

Bu holda oqimcha diametri naycha diametriga teng bo`lgani uchun siqilish koeffitsiyenti  $\varepsilon = 1$ , binobarin,  $m = \varphi$  bo`ladi.

Agar naycha $l_n = (3\div 4)D_n$ dan kalta bo`lsa, bu holda toraygan oqimcha naycha kesimigacha kengayib ulgurmaydi va oqim teshikdan oqayotgan suyuqlik kabi bo`ladi (6.2-rasm, b). Naycha uzunligining uning diametriga nisbati $\frac{l_n}{D_n}$ va Reynolds soni tezlik hamda sarf koeffitsiyentlariga ta'sir ko`rsatadi. Bu ta'sirni tajribalarda ko`p tekshirilgan bo`lib,  $\varphi$ ,  $m$  va  $\zeta$  larning o`rtacha qiymatlari silindrik naychalar uchun quydagicha bo`ladi:



6.2-rasm. Naychadan oqish.



6.3-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, ular idish devoridagi teshikka ichkari tomonidan kavsharlangan juda kichik quvur ko`rinishida bo`ladi. Bunday naychalarda oqimcha kirishdagi torayishdan keyin  $l_n > 2,5D_n$  ga teng uzunlikda to`liq kengayadi (6.3-rasm). Bu holda ham $\varepsilon = 1$ bo`lib,  $m = \varphi = 0,70$  bo`ladi $l_n \leq 1,5D$ da esa oqim to`liq kengayishiga ulgurmaydi, natijada sarf kamayib ketadi.

6.4. Turli xil naychalar

Silindrik naychalarning kamchiliklari shulardan iboratki, ularning uzunligi yetarli bo'lib, oqimcha to'liq kengayishga ulgursa (6.3-rasm a), u holda qarshilik ortib ketadi. Agar u kaltaroq bo'lsa, oqimcha to'liq kengaymasligi (6.3-rasm, b) natijasida sarf ko'ffitsiyeti kamayib ketadi. Shuning uchun, odatda, boshqa xildagi naychalar ham qo'llaniladi. Ular konussimon kengayuvchi (8.4-rasm, a), konussimon torayuvchi (6.4-rasm, b) va konoidal (6.4-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 aksi 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 ichki torayish kam bo'lgani uchun unga sarf bo'lgan energiya ham kam bo'ladi. Tajribadan ma'lumki torayuvchi naychalarda tezlik ko'ffitsiyenti konuslik burchagi ortishi bilan ortib boradi: sarf ko'ffitsiyenti esa avval ortib borib, $\Theta = 13^\circ$ da eng katta qiymatga ($m = 0,946$) erishadi, so'ngra esa kamayadi. Shuni aytish keraki sarf ko'ffitsiyenti ortganiga qaramay torayuvchi naychalarda sarf kamayadi, shunki barcha ko'ffitsiyentlar chiqish qismiga nisbatan olingan. Bu naychalarda chiqish kesimi kirish kesmiga nisbatan toraygani uchun katta tezliklar olish mumkin.

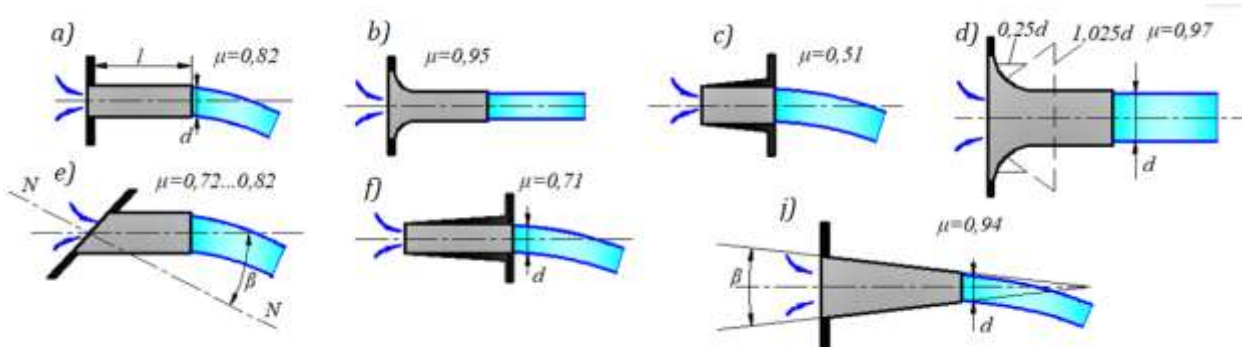
Konoidal naychalarning shakli yupqa devordagi teshikdan oqayotgan suyuqlik oqimi shakliga o'xshash bo'ladi. Shuning uchun ularda ichki torayish boshqa naychalarga qaraganda juda kichik bo'lib, qarshilik ham kam bo'ladi. Demak tezlik sarf va siqilish ko'ffitsiyentlari eng katta bo'ladi. Tajribalarning

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 koeffitsiyentlarining qiymatlari 6.1-jadvalda keltirilgan. Turli naychalar aktiv turbinalarning soplolarida gidravlik turbinalarning so'ruvchi quvurlarida, fontanlarning soplolarida, brandspoyt, gidromonitorlarda turli suyuqlikni so'ruvchi va sochuvchi va boshqa turli qurilmalarda ishlatiladi.

Naychalar katta idish devoriga emas, balki quvurning uchiga o'rnatilgan bo'lsa, (6.8) va (6.10) formulalarda kirishdagi tezlik V_1 ni hisobga olish kerak bo'ladi. Bu holda sarf formulasi quyidagicha yoziladi:

$$Q = m \frac{\pi D_n^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 - \left(\frac{D_n}{D_T}\right)^2}}, \quad (6.12)$$



6.4-rasm. a) tashqi silindrik; b) tashqi konoydal; c) ichki konoydal; d) konoydal; e) burchak ostida silindrik; f) ichki konoydal; j) tashqi torayuvchi konoydal.

6.1-jadval. Har xil shakldagi naychalar va dumaloq teshik uchun siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari.

№	Naychalar turi va teshiklar	Rasmlar	ε	φ	μ	ζ
1	Yupqa devordagi dumaloq teshik	77	0,64	0,97	0,62	0,06
2	Tashqi silindrik naycha	78	1	0,82	0,82	0,5
3	Ichki silindrik naycha	79	1	0,71	0,71	1,0
4	Konussimon kengayuvchi naycha $\Theta = 70^\circ$ bo'lganda	80-a	1	0,45	0,45	3÷4
5	Konussimon torayuvchi naycha $\Theta = 13^\circ 24'$ bolganda	80-b	0,982	0,963	0,946	0,09
6	Konoidal naycha	80-c	1	0,97	0,97	0,04

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.

6.5. Suyuqliklarning teshikdan o'zgaruvchan naporda (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 harakatni qisqa vaqt oraliqlarda 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 (6.5-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

$$\omega dH = -Qdt \quad (6.13)$$

Bu yerda manfiy ishora idishdagi suyuqlikning kamayganini bildiradi. Ko'rilaotgan vaqt oralig'ida (yuqorida aytilganidek) Bernulli tenglamasidan foydalanish mumkin bo'lgani uchun sarf (8.10) formula bilan hisoblanadi. U holda (8.13) quyidagicha yoziladi

$$\omega dH = -m\omega_0 \sqrt{2gH} dt.$$

oxirgi tenglikdan ko'rinadiki,

$$dt = -\frac{\omega dh}{m\omega_0 \sqrt{2gH}}. \quad (6.14)$$

Agar sarf koeffitsiyenti m ni idish bo'shashi davomida o'zgarmaydi desak, u holda idishning bo'shash vaqti quyidagicha hisoblanadi

$$t = -\frac{1}{m\omega_0 \sqrt{2g}} \int_H^0 \omega \frac{dH}{\sqrt{H}}. \quad (6.15)$$

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 (6.15) tenglikning o'ng tomonidan integralini hisoblash mumkin. Prizmatik idishlar uchun $\omega = \text{const}$ ekanligini nazarda tutib idishning ixtiyoriy sathi suyuqlikdan bo'shash vaqtini hisoblaymiz.

$$t = -\frac{\omega}{m\omega_0\sqrt{2g}} \int_H^0 \omega \frac{dH}{\sqrt{H}}.$$

yoki

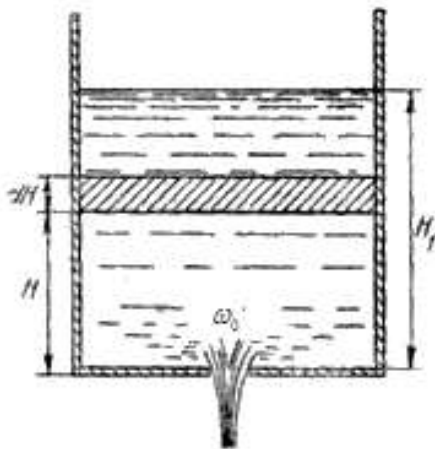
$$t = \frac{2\omega}{m\omega_0\sqrt{2g}} \sqrt{H} = \frac{2\omega H}{m\omega_0\sqrt{2gH}} \quad (6.16)$$

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

$$t = \frac{2\vartheta_d}{Q}$$

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, (6.15) tenglamadan suyuqlik sathining H_1 dan H_2 gacha o'zgarishi uchun ketgan vaqtni quyidagicha hisoblash mumkin.

$$t = \frac{2\omega}{m\omega_0\sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (6.17)$$



6.5-rasm. Idishning suyuqlikdan bo'shashiga doir chizma

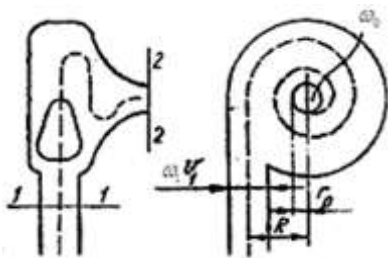
Shuningdek, o'xshash yopiq idishlarning kichik diametrli teshiklardan oqishi hisobiga bo'shashi masalasini ham ko'rish mumkin. Suyuqlikning bosimi ko'p idishdan bosimi kam idishga o'tishi masalasini ham xuddi shunday ko'rish mumkin.

6.6. Oqimcha texnikasi haqida tushuncha

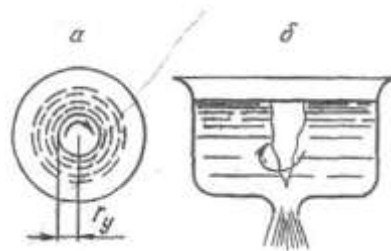
Yuqorida aytib o'tilgandek, oqimchali harakatlar (xususan suyuqliklarning teshik va naychalardan oqishi) texnikaning turli sohalarida qo'llaniladi. Bularga

misol sifatida forsunkalar, bosimni boshqaruvchi apparatlar, tashqi zarbani susaytiruvchi qurilmalar, soplolar va boshqalarni ko`rish mumkin. Ulardan ba'zilari haqida qisqacha to`xtalib o`tamiz.

Forsunkalar suyuqlikni changitish, ya'ni suyuqlik atmosferaga (yoki yuqori bosimli gaz bilan to`la fazoga) oqib chiqishi bilan uning oqimchasining mayda zar-rachalarga 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 printsipli quyidagicha avval suyuqlikning uyurma harakati vujudga keltiriladi, so`ngra esa hosil bo`lgan oqim toraytiriladi (6.6-rasm).



6.6-rasm. Forsunka kesimining sxemasi.



6.7-rasm. Forsunka uyurmali oqimchani 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 chiqishida devorga shunday siqadiki, natijada uning yupqa qavati 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 (6.7-rasm,a). Bu uyurma idishlarning bo`shashidagi uyurma varonkasi (6.7-rasm,b) ga o`xshaydi, lekin forsunkada tezkorroq bo`ladi. Forsunkada suyuqlik sarfi formulasi (8.10) quyidagicha yoziladi:

$$Q = m\omega_0 \sqrt{2g \frac{p}{\gamma}}$$

bu yerda p - forsunka ichida suyuqlikning bosimi m - sarf koeffitsiyenti, u maxsus formula bilan topiladi. ω_0 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:

$$m = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \frac{A^2 - \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}}$$

$$A = \frac{\omega_0 R}{\omega_1 r_0} \quad (6.18)$$

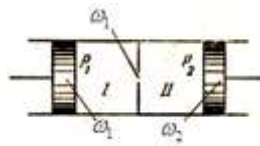
Bu yerda ω_1 - forsunkaga kirishdagi kesim yuzi R - kirishdagi oqimning aylanish radiusi r_0 - chiqishdagi kesim radiusi.

Oqimchaning siqilish ε va tezlik koeffitsiyentlari φ uchun quyidagi formulalari chiqarilgan:

$$\varepsilon = 1 - \frac{r^2 y}{r_0^2} \quad (6.19)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}}$$

bu yerda r_y - havo uyurmasining tashqi radiusi.



6.8-rasm. Drossellarni tushuntirishga oid chizma

Shunday qilib, prof, G.N. Abromovich nazariyasi bo'yicha sarf Q va forsunkadan chiqishdagi o'q bo'yicha tezlik V quyidagicha hisoblanadi

$$Q = \frac{\varepsilon \omega_0}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}} \sqrt{2gH}. \quad (6.20)$$

$$g = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}} \sqrt{2gH}. \quad (6.21)$$

Suyuqlik reaktiv dvigatellaridagi 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 (6.8-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 jarayon ikkala bo'lmada bosim tenglashguncha davom etadi. Bunday qurilmalarda suyuqlik tezligi va sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$g = \varphi \sqrt{2g\Delta p / \gamma} = \varphi \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad (6.22)$$

$$Q = m\omega_T \sqrt{2g\Delta p / \gamma} = m\omega_T \sqrt{H_1 - H_2} \quad (6.23)$$

bu yerda $\Delta p = p_1 - p_2$; ω_m - teshikning kesim yuzi; H_1, H_2 – birinchi va ikkinchi kameralardagi bosimlar.

Birinchi bo'lmadan ikkinchi bo'lmaga suyuqlikning oqib o'tish vaqti quyidagicha hisoblanishi mumkin:

$$t = \frac{2\omega_1\omega_2}{m\omega_T(\omega_1 + \omega_2)} \left(\sqrt{\frac{p_1}{\gamma}} - \sqrt{\frac{p_2}{\gamma}} \right) = \frac{2\omega_1\omega_2}{m\omega_T(\omega_1 + \omega_2)} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (6.24)$$

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, (6.24) ni ushbu ko'rinishga keltirish mumkin:

$$t = \frac{\omega}{m\omega_T} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})$$

(6.22), (6.23) va (6.24) 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

$$H_1 = \frac{Q^2}{(\mu\omega_1)^2 2g} = 2,13 \text{ m};$$

$$H_2 = \frac{Q^2}{(\mu\omega_2)^2 2g} = 0,76 \text{ m};$$

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: $\varepsilon = 0,62$; $\varphi = 0,97$ $\zeta = 0,06$.

2. Sisternadan diametri $d = 100 \text{ mm}$ bo'lgan teshikdan atmosferaga oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang. Agar sisterna diametri $D = 250 \text{ mm}$, sisternaga o'rnatilgan manometrning ko'rsatishi $R_m = 0,2 \text{ MPa}$ va manometrning o'rnatish balandligi $h = 1,3 \text{ m}$ bo'lsa.

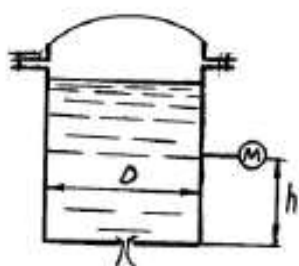
Agar teshikka xuddi shu diametrdagi naycha ulansa suyuqlik sarfi qanday o'zgaradi? Teshikning qarshilik koeffitsiyenti $\xi = 0,04$

3. To'g'on devoriga o'rnatilgan silindrik naycha orqali $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sarfni pastki b'efga o'tkazish kerak. B'eflardagi suyuqliklar sathining farqi $H = 10 \text{ m}$, naychani sarf koeffitsiyenti $\mu = 0,82$. Naycha diametrini aniqlang

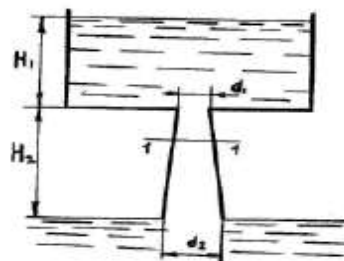
4. Suv yuqori rezervuardan pastki rezervuarga diametrlari $d_1 = 150 \text{ mm}$ va $d_2 = 200 \text{ mm}$ li tesyik va diffuzor orqali oqib o'tmoqda. Teshik va diffuzorning qarshilik koeffitsiyentlari: $\xi_1 = 0,06$; $\xi_2 = 0,03$.

Agar 1-1 kesimdagi absolyut bosim nolga teng bo'lib, $H_2 = 1.5 \text{ m}$ bo'lsa, yuqori rezervuardagi suv sathining balandligi – H_1 nimaga teng bo'ladi (6.9- rasm)?

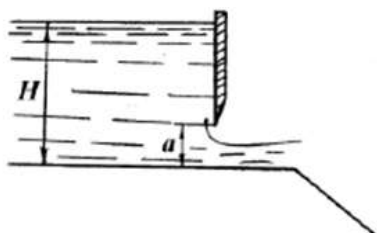
5. Eni $b = 2,6 \text{ m}$ li tarnovdagi darvoza tagidan oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang. Darvozaning ko'tarilish balandligi $a = 0,7 \text{ m}$ yuqori b'efdagi suv dami (napori) $H = 6,0 \text{ m}$. Siqilish va tezlik koeffitsiyentlari: $\varepsilon = 0,67$; $\varphi = 0,97$ (6.11- rasm)



(8.10 - rasm).



(8.9-rasm).



(8.11rasm)

VIII bob bo'yicha nazorat savollari

1. Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o'zgarmas 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

VII BOB. QUVURLARNI GIDRAVLIK HISOBLASH

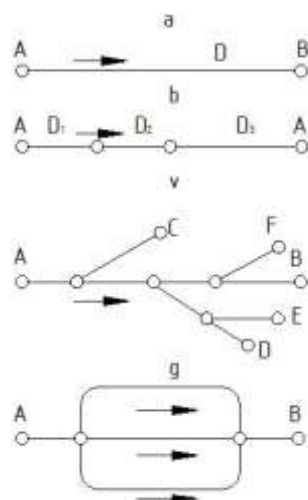
Quvurlarning geometrik o`lchamlari (diametiri, uzunligi) ni ma'lum sarfga moslab hisoblash yoki berilgan bosimda o`lchamlari berilgan quvurlarning sarflarini hisoblash quvurlarni gidravlik hisoblash deyiladi.

Gidravlik hisoblash vaqtida quvurlarning uzunligi yoki hisoblashning gidravlik shartlariga qarab, ular ikki turga bo`linadi: uzun va qisqa quvurlar.

Uncha 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, benzobakdan karbyuratorga benzin o`tkazuvchi quvurni avtotraktor va boshqa qurilmalar dvigatellarining moy o`tkazuvchi quvurlarini, gidrouzatmalardagi tutashtiruvchi quvurlar va hokazolarni keltirish mumkin.

Ancha uzoq masofaga cho`zilgan va gidravlik qarshiliklarda majmuida asosiy qismni 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* (7.12-rasm, a, b); *murakkab quvurlar* (7.12-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.



7.12-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 tekis taqsimlanib borishi mumkin.

7.1. Sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi

Quvurlarni hisoblashda biz yuqorida keltirilgan ishqalanish va mahalliy qarshiliklar uchun chiqarilgan formulalardan foydalanamiz. Shuning uchun biz 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. (7.13-rasm). Bularda bosimning pasayishini barcha qarshiliklarning yig`indisi ko`rinishida hisoblaymiz

$$H = H_{l_1} + H_{M_1} + H_{l_2} + H_{M_2} + \dots + H_{l_n} + H_{M_n}.$$

Yuqorida keltirilgan formuladan foydalanib quyidagi munosabatni chiqaramiz.

$$H = \lambda \frac{l_1}{D} \frac{g^2}{2g} + \zeta_1 \frac{g^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{D} \frac{g^2}{2g} + \zeta_2 \frac{g^2}{2g} + \dots + \lambda \frac{l_n}{D} \frac{g^2}{2g} + \zeta_n \frac{g^2}{2g}.$$

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  $\left(g = \frac{4Q}{\pi D^2}\right)$  va o`xshash hadlarni guruhlab, quyidagini olamiz:

$$H = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) \frac{\lambda}{D} \frac{g^2}{2g} + (\zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n) \frac{g^2}{2g} = \lambda \frac{\sum l_i}{D} \frac{g^2}{2g} + \sum \zeta_i \frac{g^2}{2g} + \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i Q^2 + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \sum \zeta_i Q^2$$

Yoki

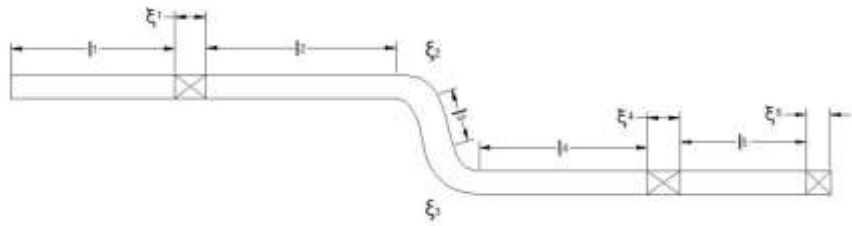
$$H = \left[\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \sum \zeta_i \right] Q^2$$

Qavs ichidagi miqdorni α bilan belgilasak, u holda

$$H = \alpha Q^2. \quad (7.2)$$

O'lchov birligi m^5 bo'lgan α miqdor quvurning solishtirma qarshiligi deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \sum \zeta_i \quad (7.3)$$



7.13-rasm. Sodda quvurning sxemasi.

α miqdor quvurning uzunligi, diametri, mahalliy qarshiliklar koeffitsiyentlariga bog'liq bo'lib, kvadrat qarshilik sohasida o'zgarmas bo'ladi.

(7.3) dagi birinchi hadning yig'indi oldidagi miqdorini

$$\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} = A_e \frac{c^2}{m^6}$$

ko'rinishda, ikkinchi hadning yig'indi oldidagi miqdorni ko'rinishda belgilaymiz va ularni o'zaro quyidagicha aytamiz

$$\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^4} = A_m \frac{c^2}{m^5}$$

A_l – solishtirma ishqalanish qarshiligi (ya'ni 1 m quvurning ishqalanish qarshiligi) va A_m – solishtirma mahalliy qarshilik (quvurning shakli o'zgargan qismining $\zeta = 1$ bo'lgandagi qarshiligi).

U holda

$$\alpha = A_e \sum l_i + A_m \sum \zeta_i$$

Bu yerda A_l va A_m – umumlashgan parametrlar bo'lib, quvurlarni hisoblashda maxsus jadvallardan olinadi.

Bazi umumlashgan parametrlar bir oz boshqacharoq ko'rinishda olinadi. Bu holda mahalliy qarshilikni ekvivalent uzunlik bilan almashtirsak hosil bo'ladi.

$$H = \lambda \frac{l + l_{ekv}}{D} \frac{Q^2}{2g} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} (l + l_{ekv}) Q^2$$

Oxirgi tenglikka

$$A = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda}}$$

belgilashni kiritamiz va uni quvurning sarf xarakteristikasi deb ataymiz. U holda

$$H = \frac{l + l_{ekv}}{A^2} Q^2 \quad (7.4)$$

Bu belgilashdan ko`rinib turibdiki

$$A^2 = \frac{1}{A_e}.$$

A^2 ning turli hollardagi miqdori ham A_l va A_m kabi jadvallardan olinadi.

Yuqorida ko`rganimizdek $\frac{H}{l} = J$ ekanligini hisobga olsak, (7.4) dan prof.

B.A.Baxmetov formulasini olamiz

$$Q = A\sqrt{J}$$

Uzun quvurlar uchun bosimning pasayishi osonroq hisoblanadi va ushbu ko`rinishda yoziladi:

$$H = A_e L Q^2 \text{ yoki } H = \frac{1}{A^2} Q^2.$$

Ko`p hollarda quvurlarni hisoblash formulasi quyidagi ko`rinishda ifodalanadi:

$$Q = K\sqrt{H} \quad (7.5)$$

va K ni sarf koeffitsiyenti deb ataladi.

(7.5) va (7.4) bilan solishtirsak, sarf koeffitsiyenti uchun ushbu munosabatni olamiz:

$$K = \frac{A}{\sqrt{l + l_{ekv}}} \quad (7.6)$$

uzun quvurlar uchun esa

$$K = \frac{A}{\sqrt{L}} \quad (7.7)$$

(7.5) formulani boshqacha ham yozish mumkin:

$$H = \frac{1}{K^2} Q^2 \quad (7.8)$$

bu holda $\frac{1}{K^2} = \alpha$ bo`ladi. Suyuqlik kvadratik qonunga bo`ysunganda λ va ζ

Reynolds soniga bog`liq bo`lmagani uchun yuqorida aytganimizdek K^2 va A_v lar uchun quvurning diametri va g`adir-budirligiga qarab jadval ko`rinishida ifodalanadi, A_m esa bu jadvalda faqat diametriga bog`liq.

Laminar soha uchun yuqoridagi formulalardagi quvurning qarshiligi α va qarshilik koeffitsiyenti K (7.3) formula yordamida hisoblab topiladi. Bunda λ Puazeyl formulasi bo`yicha hisoblanadi:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

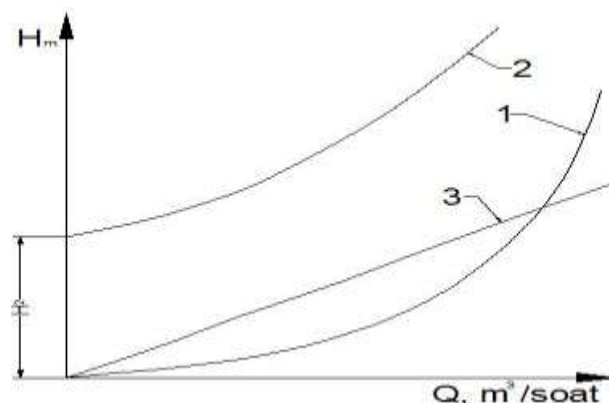
7.1-jadval.

Quvurlarni hisoblash uchun umumlashgan parametrlar (kvadratik qarshilik qonuni uchun)

Quvurning ichki diametri, D, mm	Quvurning absolyut g`adir-budurligi						
	$\Delta = 0,2 \text{ mm}$		$\Delta = 0,5 \text{ mm}$		$\Delta = 1,0 \text{ mm}$		$A_m \frac{c^2}{m^6}$
	$K^2 \frac{m^5}{c^2}$	$A_e \frac{c^2}{m^6}$	$K^2 \frac{m^5}{c^2}$	$A_e \frac{c^2}{m^6}$	$K^2 \frac{m^5}{c^2}$	$A_l \frac{c^2}{m^6}$	
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

Kvadratgacha bulgan sohada esa λ (silliqlik quvurlar uchun) Blazius formulasi bo`yicha hisoblanadi:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}$$



7.14-rasm. Quvurning xarakteristikasi.

Quvurlarni hisoblashni osonlashtirish uchun (7.2) yoki (7.5) formula bo`yicha jadval tuzib olish mumkin. U holda bosim pasayishining turli qiymatlariga tegishli sarf miqdorlarini shu jadvaldan olish mumkin bo`ladi.

(7.2) tenglama (7.5) bilan birgalikda sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi deyiladi. Bu tenglama bosim va sarf orasidagi bogʻlanishni grafik koʻrinishda ifodalashga imkon beradi. Koʻrinib turibdiki, bu grafik koordinatalar boshidan oʻtuvchi kvadratik parabola koʻrinishida ifodalanadi (7.14-rasm, 1 grafik). Agar quvurning hisoblash tekisligidan qancha balandda joylashgan H_g ni hisobga olsak, u holda H va Q oʻrtasidagi munosabat koordinatalar boshidan H_g balandlikda joylashadi (7.14-rasm, 2 grafik). U holda umumiy bosim H va H_g ning yigʻindisidan iborat boʻladi:

$$H_y = H_g + H = H_g + \alpha Q^2 \quad (7.9)$$

Harakat laminar boʻlsa, u holda H grafigi toʻgʻri chiziqqa aylanadi (7.14-rasm, 3 grafik).

$H - Q$ grafigi yordamida berilgan bosim uchun sarfni topish mumkin. Buning uchun ordinata oʻqidan berilgan bosimga tegishli kesmani olib, uning uchidan abstsissa oʻqiga parallel chiziq oʻtkazamiz. Bu chiziqning xarakteristikasi bilan kesishgan nuqtasidan abstsissa oʻqiga tushirilgan perpendikulyar undan quvurda berilgan bosimda sarfning miqdoriga toʻgʻri keladigan kesma ajratadi. Agar quvurdan oʻtishi kerak boʻlgan sarf maʼlum boʻlib, bosimni topish kerak boʻlsa, sarfni topish uchun qoʻllangan usulni teskari tartibda bajaramiz.

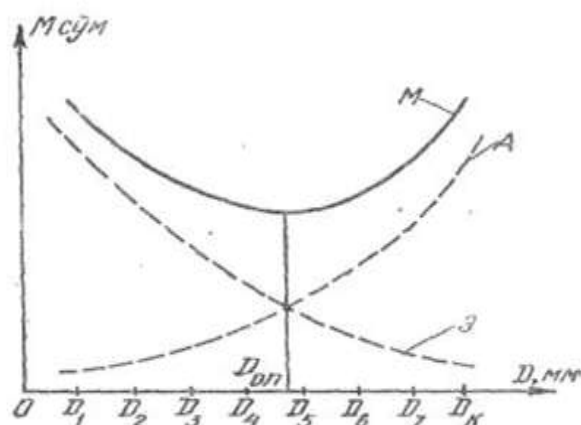
7.2. Quvurning iqtisodiy tejamlı diametrini topish haqida tushuncha

Quvurlar sistemasini loyihalashda berilgan uzunlikdagi quvurdan suyuqlikni oqizib, berilgan sarfni olish uchun kerak bo'lgan bosimni hisoblash masalasi muhim o'rin tutadi. Quvurning asosiy tenglamasidan ko'rinadiki, berilgan uzunlik va sarfga diametr ortishi bilan qarshilik ko'effitsiyenti 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 yaratishga 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 harajati minimal qiymatiga to'g'ri kelgan diametri eng tejamlı diametr D_{op} bo'ladi.

7.15-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. (7.15-rasmda eng tejamlı 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_{opt} yoki optimal qiyalik l_{opt} ning qiymatini berish yo'li bilan aniqlanadi. Suyuqlikning sarfini Q va V ma'lum bo'lgan holda diametrini topish qiyin emas.

$$Q = g_{opt} \frac{\pi D^2}{4} \quad (7.10)$$



7.15-rasm. Tejamli qulay diametrni hisoblashga oid chizma.

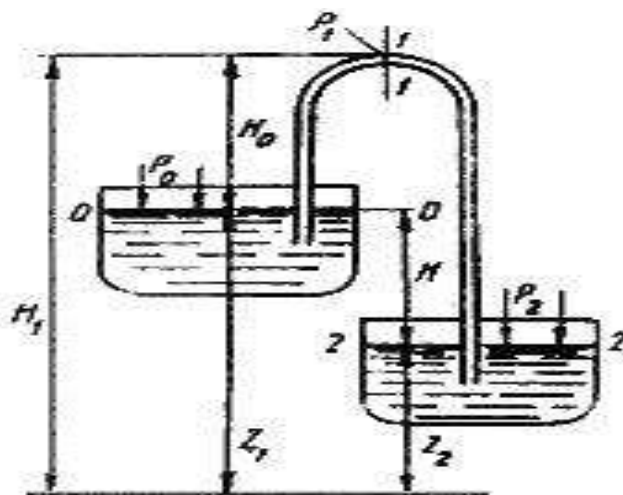
bundan

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_{opt}}} \quad (7.11)$$

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 MH/m^2 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.

7.3. Sifon quvur

Bir qismi suyuqlik bilan ta'minlovchi idishdan yuqorida joylashgan sodda quvur sifon quvur deb ataladi (7.16-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 sisternalardan quyib olish, suv sig'imlarini bo'shatish, do'nglik yerlarda vodoprovod o'tkazish va hokazolardan foydalaniladi. Suv 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.



7.16- rasm. Sifon quvur.

Havoni nasoslar yoki ejektorlar 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 bo`ladi.

$$z_1 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{g_0^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{g_2^2}{2g} + h_{0-2} \quad (7.12)$$

$p_0 = p_2 = p_{\text{atm}}$, va $v_1 = v_2 = 0$ deb hisoblasak, bu tenglama quyidagicha yoziladi:

$$z_1 = z_2 + h_{0-2} \quad (7.13)$$

yoki $z_1 - z_2 = H$ ekanligini nazarga olib, h_{0-2} qarshilikni hisoblash uchun esa ishqalanish va mahalliy qarshiliklar formulasidan foydalanib, oxirgi tenglamani ushbu ko`rinishga keltiramiz:

$$H = \alpha Q^2 \quad (7.14)$$

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 to`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 Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} = H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} + h_{0-1} \quad (7.15)$$

Agar tezliklar kichikligi uchun ularni nolga tenglasak:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - H_1 - h_{0-1} \quad (7.16)$$

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.

7.4. 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 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, uzunliklari $L_1, L_2, \dots, L_n$ bo`lsin (7.17-rasm).

Bu quvurlarning har birida sarflar teng bo`lishi uzilmaslik tenglamasidan ko`rinadi. U holda quvurlardagi bosimning kamayishi (7.2) ga asosan aniqlanadi.

$$H_1 = \alpha_1 Q^2$$

$$H_2 = \alpha_2 Q^2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$H_n = \alpha_n Q^2$$

Ko`rilayotgan quvurda esa qarshiliklarni qo`shish printsipligiga asosan quyidagicha hisoblanadi.

$$H = H_1 + H_2 + \dots = H_n = (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) Q^2. \quad (7.16)$$

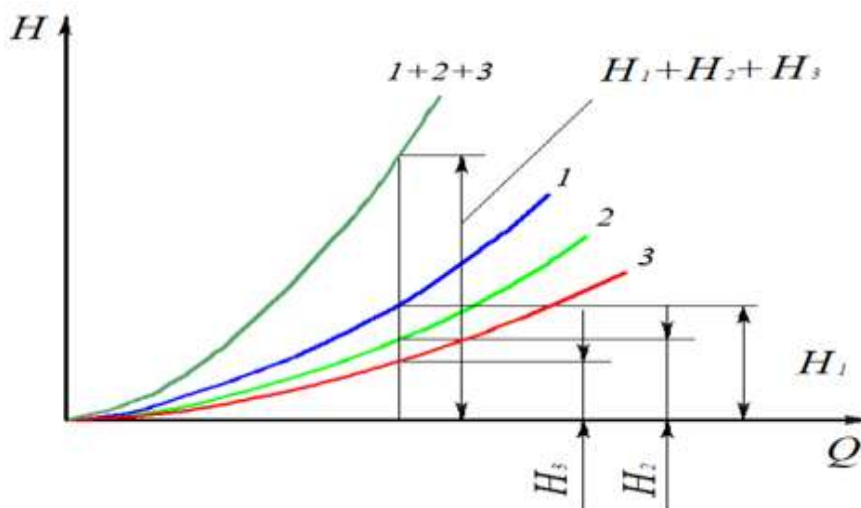
Shunday qilib, quvurlar ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik xususiy qarshiliklar yig`indisidan iborat.

$$\alpha = \sum_1^n \alpha_n \quad (7.17)$$

Bu ikki (7.16) va (7.17) tenglama quvurlarni ketma-ket ulashda xarakteristika tuzish uchun asos bo`ladi.

Avval ketma-ket ulangan ikkita quvurni ko`ramiz. Bu quvurlarning xarakteristikalari 7.18-rasm,  $a$  da 1 va 2 grafiklar orqali ifodalangan. Ikki quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (7.16) tenglamaga asosan bir xil sarfda ikki quvurdagi bosim kamayishlarini qo`shamiz, ya'ni bir xil abstsissalarda ikkala egri chiziqning ordinatalarini qo`shamiz.

Ketma-ket ulangan uchta quvurning umumiy xarakteristikasini tuzish uchun avval 1,2,3 quvurlarning xarakteristikasini tuzib olamiz (7.18-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 (7.9) dan farqli ravishda, kirishdagi va chiqishdagi tezlik damlarining farqi qatnashadi:



7.18 - rasm. Ketma-ket ulangan quvurlarning xarakteristikasi

$$H = z_A - z_B + \frac{\alpha_A g_A^2 - \alpha_B g_B^2}{2g} + \sum H_n + \frac{p_B}{\gamma} = H_g + cQ^2 + \alpha Q^2 \quad (7.18)$$

bu yerda

$$c = \frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_A}{\omega_A^2} - \omega \frac{\alpha_B}{\omega_B^2} \right),$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i,$$

$$H_g = z_A - z_B + \frac{p_B}{\gamma}$$

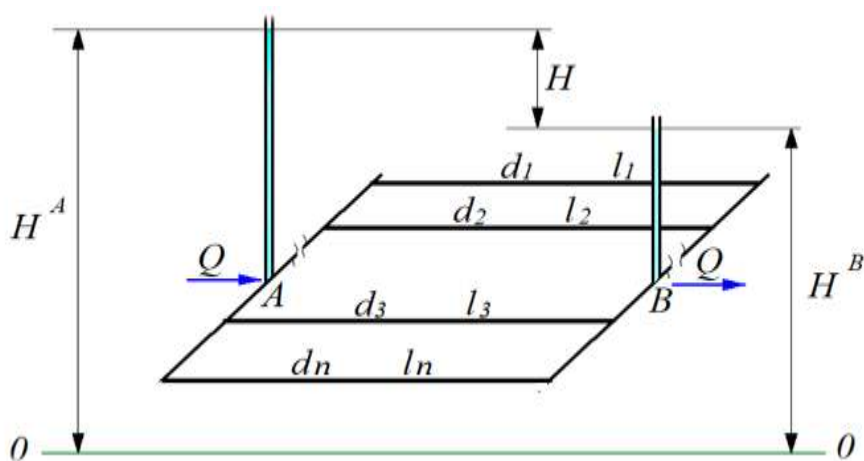
ω_A, ω_B - kirish va chiqishdagi kesim yuzalari.

Parallel ulash. Endi bir qancha parallel ulangan sodda quvurlardan tashkil topgan murakkab quvurni ko`ramiz (6.19-rasm). Sodda quvurlarning sarflari  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ , qarshiliklari  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  bo`lsin. Umumiy sxemadan ko`rinib turibdiki, murakkab quvurning sarfi sodda quvurlar sarflarining yig`indisiga teng.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \sum Q_n. \quad (7.19)$$

Har bir sodda quvurdagi bosimning kamayishi ham, murakkab quvurdagi bosimning kamayishi ham A va B nuqtalardagi to`la bosimlarning ayirmasiga teng:

$$H_A - H_B = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n = H. \quad (7.20)$$



7.19-rasm. Quvurlarni parallel ulash.

Har bir quvurdagi bosimning kamayishi (7.2) ga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$H_1 = \alpha_1 Q_1^2$$

$$H_2 = \alpha_2 Q_2^2$$

.....

.....

.....

$$H_n = \alpha_n Q_n^2$$

Bulardan sarflarni topib, (7.19) ga qo'yamiz:

$$Q = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{H_3}}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{\sqrt{H_n}}{\sqrt{\alpha_n}}. \quad (7.21)$$

va (7.20) dan foydalanib, quyidagi munosabatni olamiz:

$$Q = \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right) \sqrt{H}. \quad (7.22.)$$

Bu tenglikdan murakkab quvur uchun bosim kamayishi tenglamasini chiqaramiz:

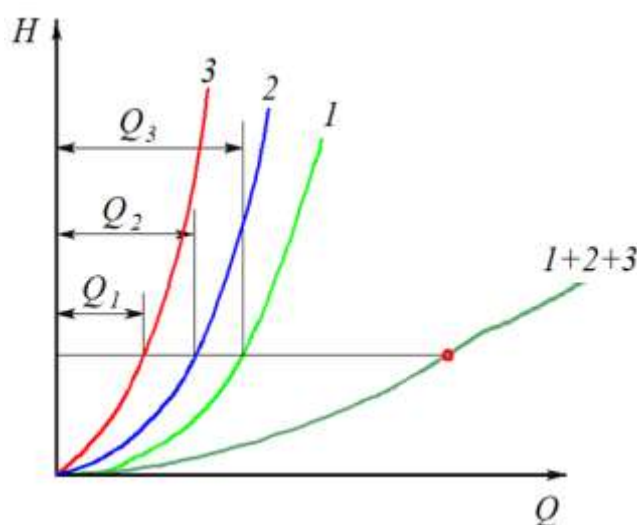
$$H = \frac{Q^2}{\left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right)^2}. \quad (7.23)$$

Shunday qilib, parallel ulangan murakkab quvurning qarshiligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} \right)^2}. \quad (7.24)$$

Parallel ulangan quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (7.19) va (7.20) tenglamalardan foydalanamiz. Avval ikki parallel quvurdan iborat murakkab quvurni ko'ramiz (7.20-rasm, a) Parallel quvurlarning xarakteristikalari 1 va 2 grafiklar ko'rinishida ifodalangan. Murakkab quvurning xarakteristikasini hosil

qilish uchun (7.20) 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 ishni 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. n ta parallel quvurdan tuzilgan murakkab quvurning xarakteristikasi ham xuddi shu usulda hosil qilinadi.



7.20-rasm. Parallel ulangan quvurlarning xarakteristikasi.

7.5. Murakkab quvurlar

Murakkab quvurlar quvurlar xilma-xil usullarda tutashtirilgan 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 (7.21-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 sarflarning yig'indisi asosiy quvurdagi sarfga to'g'ri keladi:

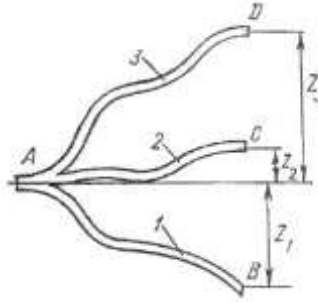
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Har bir tarmoq uchun Bernulli tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{p_A}{\gamma} = z + \frac{p_1}{\gamma} + H_1$$

$$\frac{p_A}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + H_2$$

$$\frac{p_A}{\gamma} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + H_3$$



7.21-rasm.Quvurlarning tarmoqlarga bo`linishi.

Bu tengliklarda p_1, p_2, p_3 , larni atmosfera bosimiga teng deymiz va $\frac{p_A}{\gamma} = H_A$ ekanini hisobga olib hamda 1, 2, 3 quvurlar uchun (7.2) formuladan foydalanib, quyidagilarni yozamiz:

$$H_A = z_1 + \alpha_1 Q_1^2; H_A = z_2 + \alpha_2 Q_2^2; H_A = z_3 + \alpha_3 Q_3^2 \quad (7.25)$$

Yoki $H_A - z_1 = H_1$ ekanligini hisobga olib va $z_2 - z_1 = z_{1-2}$, $z_3 - z_1 = z_{1-3}$ belgilashlarni kiritib, oxirgi tengliklarni o`zgartiramiz:

$$H_1 = \alpha_1 Q_1^2; H_1 - z_{1-2} = \alpha_2 Q_2^2; H_1 - z_{1-3} = \alpha_3 Q_3^2 \quad (7.26)$$

Bu tenglamalardan 1, 2, 3 quvurlardagi sarflarni topib va qo`shib umumiy harjni topamiz:

$$Q = \left(\frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{H_1 - z_{1-2}}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{H_1 - z_{1-3}}}{\sqrt{\alpha_3}} \right) \quad (7.27)$$

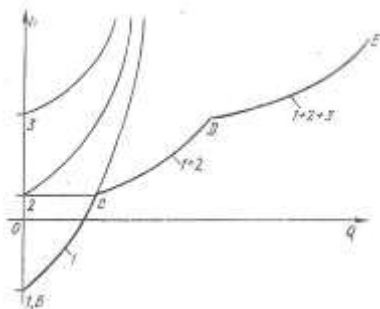
yoki

$$Q = \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{1 - z'_{1-2}}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{1 - z'_{1-3}}}{\sqrt{\alpha_3}} \right) H_1 \quad (7.28)$$

bu yerda $z'_{1-2} = \frac{z_{1-2}}{H_1}$, $z'_{1-3} = \frac{z_{1-3}}{H_1}$ bo`lib, ular uchun  $z'_{1-2} < 1$ ,  $z'_{1-3} < 1$  tengsizliklar o`rin-

lidir. 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 asosan tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika hosil

qilish mumkin (7.22-rasm). Buning uchun ularning xarakteristikalarini quvurlarni parallel ulash dagi kabi qo`shamiz.



7.22-rasm. Tarmoqlarga bo`lingan quvurning xarakteristikasi.

Natijada 7.22-rasmda 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 xarakteristikalari (sarflar  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  manfiy bo`lgani uchun) *H* o`qining chap tomonida (ya'ni *Q* o`qining manfiy yo`nalishida) qo`shiladi. Bordinyu, bu quvurlarning ba'zilaridan oqim o`nga, boshqalarida chapga bo`lganda ham o`nga 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, xarakteristikalarni yoki tenglamalarni 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.

7.6. Nasosdan ta'minlanuvchi quvur

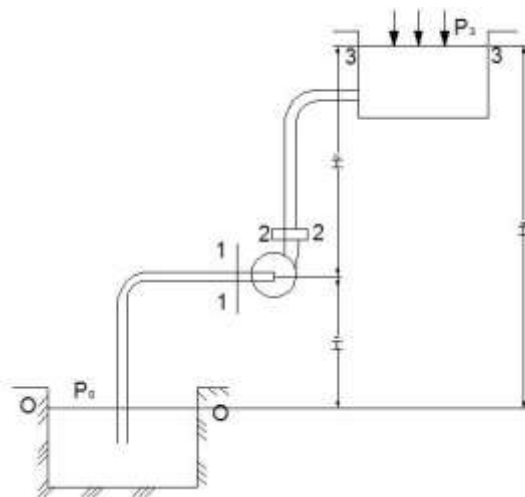
Yuqorida biz turli usulda ulangan quvurlar sistemasini ko`rdik, biroq ularning suv bilan ta'minlanishi qanday amalga oshirilishi haqida to`xtalib o`tmadik. Bunday hol balandlikka o`rnatilgan katta idishdan ta'minlanuvchi

quvurlar sistemasi uchun yoki nasosdan ta'minlanuvchi sistemalarning qismlari uchun o`rinli. Sanoat va qishloq xo`jaligida quvurlarni nasos orqali ta'minlash hollari ko`p uchrab turadi. Bu holda quvurlar sistemasidagi bosim ustiga nasos hosil qilgan bosimni ham qo`shish kerak bo`ladi. Shu maqsadda nasosdan ta'minlanuvchi sodd quvurlarni (7.23-rasm) ko`ramiz.

Nasos pastki idishdan p_0 bosimli suyuqlikni so`rib, yuqoridagi  $p_1$  bosimli idishga chiqarib bersin. Nasos o`qining pastki sathdan balandligi H_1 geometrik so`rish balandligi deyiladi va bu balandlikkacha suyuqlik harakat qilayotgan 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 (nagnetatelnaya ili napornaya) quvuri deyiladi.

So`rish quvuri uchun ($0 - 0$ va $1 - 1$ kesimlar uchun) Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{p_0}{\gamma} = H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + h_{0-1}$$



7.23-rasm. Nasosdan ta'minlanuvchi quvurga oid 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. (7.29) 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_0 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.

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = H_2 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + h_{2-3} \quad (7.30)$$

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 sarf bo'lishini hisobga olish kerak. (7.30) tenglamaning chap tomoni nasosdan chiqishdagi solishtirma energiyani ko'rsatadi. Nasosga kirishdagi solishtirma energiyani (7.29) tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_0}{\gamma} - H_1 - h_{0-1}. \quad (7.31)$$

Bu oxirgi tenglama va (7.30) 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:

$$H_{\text{nac}} = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) = H_1 + H_2 + \frac{p_3 - p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + h_{0-1} + h_{2-3}$$

yoki

$$H_{\text{nac}} = H_g + \frac{p_3 - p_0}{\gamma} + cQ^2 + \alpha Q^2 \quad (7.32)$$

bu yerda H_g - suyuqlikning pastki sathdan yuqori sathga ko'tarilish balandligi; sQ^2 - yuqori sathdagi tezlik bosimi; αQ^2 - so'rish va haydash quvurlardagi qarshiliklar yig'indisi; V_3 - yuqori sathdagi tezlik. Agar pastki va yuqori sathlardagi bosimlar p_0 va p_3 atmosfera bosimiga teng bo'lsa, u holda bo'ladi.

$$H_{\text{nac}} = H_g + cQ^2 + \alpha Q^2 = H_g + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + \alpha Q^2$$

Bu formuladan ko'rinadiki, suyuqlikka nasosning bergan bosimi suyuqlikni yuqori sathda harakat qildirish uchun zarur bo'lgan bosim H_3 ga teng bo'ladi:

$$H_{\text{nac}} = H_3. \quad (7.33)$$

Bu qoidani nasoslar barqaror ish tartibining hamma hollari uchun qo'llash mumkin. Nasosning ishlash xarakteristikasi uning aylanish soniga bog'liq bo'lib, bu son nasosning quvvatiga bog'liq bo'lmagan hollar uchun to'g'ridir. Agar nasos

yopiq sistemada ishlasa, ya'ni pastki va yuqori idishlar bo'lmay, so'rish va haydash quvurlari tutashtirilgan bo'lsa, u holda (7.32) formula o'rnida quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$H_{nac} = H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = H_3.$$

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.

7.7. Elektrogidravlik o'xshashlik (analogiya) haqida tushuncha

Biz yuqorida quvurlarni hisoblash uchun (7.4) va (7.5) tenglamalarni chiqardik va ularni quyidagi ko'rinishlarda ifodaladik:

$$H = \lambda \frac{8(l + l_{ekv})}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad (7.34)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda(l + l_{ekv})}} H. \quad (7.35)$$

Laminar harakat vaqtida bu formulalarda qovushqoqlik ishqalanish koeffitsiyenti λ quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64\nu}{gD} = \frac{16\nu\pi D}{Q},$$

u holda

$$H = \frac{128\nu}{gD^2} = \frac{l + l_{ekv}}{\pi D^2} Q$$

yoki

$$H = \alpha \frac{L}{\omega} Q = BQ \quad (7.36)$$

$$\text{bu yerda } L = l + l_{ekv}; \quad \omega = \frac{\pi D}{4}; \quad \alpha = \frac{32\nu}{gD^2}.$$

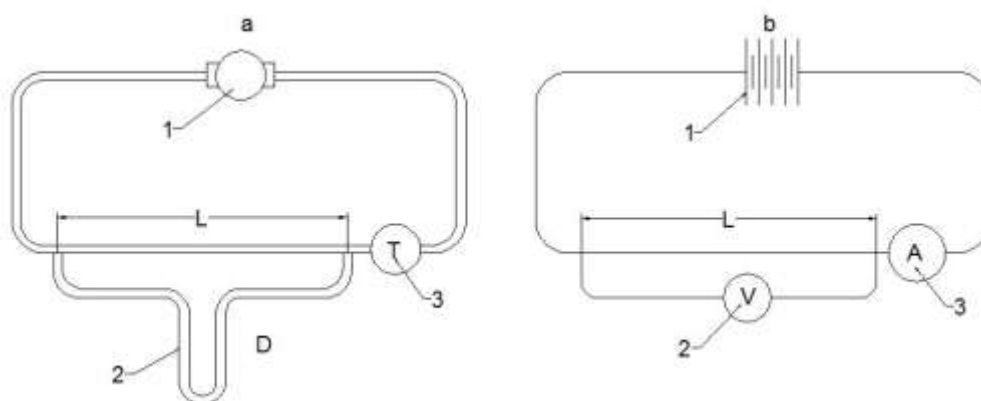
B - hisoblash yo'li bilan aniqlanadigan koeffitsiyent. (7.36) tenglama fizikaning elektr bo'limida o'tkazgichlarning bir qismi uchun Om qonuniga juda o'xshab ketadi. Agar bosim H ni kuchlanish U ga, α ni solishtirma qarshilik ρ ga, sarf Q ni tok kuchi I ga qiyoslasak, u holda (7.36) ni Om qonuniga qiyoslash mumkin.

$$U = \rho \frac{L}{S} I = RI \quad (7.37)$$

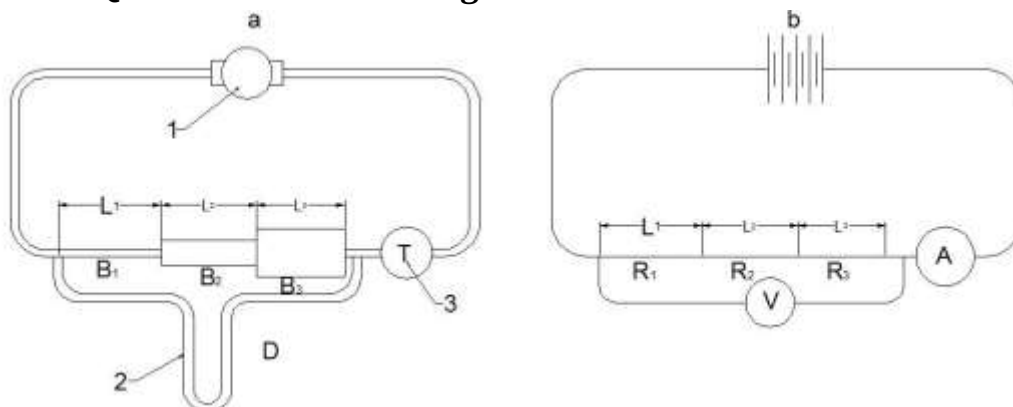
(7.36) bilan (7.37) ning o'xshashligidan foydalanib elektrogidravlik o'xshashlikni tuzish mumkin. Bu o'xshashlikka asosan o'tkazgichlardan tok o'tkazib, uning

kuchlanishi U ni voltmetr va tok kuchi I ni ampermetr yordamida aniqlash mumkin. Bunda voltmetr quvurlardagi difmanometrni, ampermetr esa sarf o'lchash asbobi o'rnini bosadi (7.24-rasm). Tok manbai sifatida esa energiya manbai nasosni ifodalash mumkin.

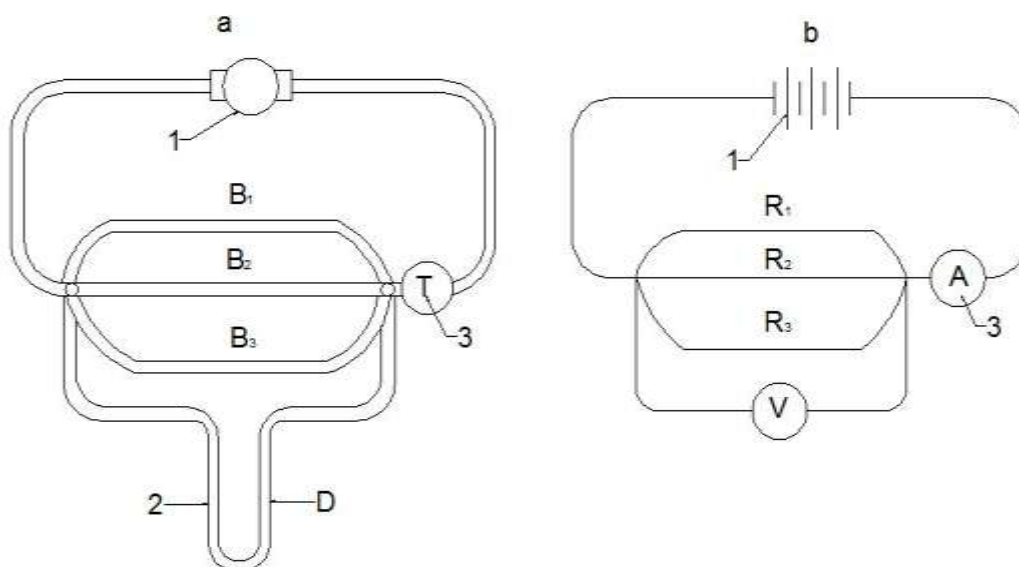
7.24-rasmda 1-manba (a - rasmda nasos, b - rasmda batareya), 2 - (a - rasmda difmanometr, b - rasmda voltmetr, 3 - (a - rasmda sarf o'lchash asbobi, b - rasmda ampermetr) ifodalangan bo'lib, quvur va o'tkazgich uzunliklari L orqali ifodalangan. Shu usul bilan quvurlarni ketma-ket (7.24-rasm) va parallel (7.25-rasm) ulashni o'tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash bilan taqqoslash mumkin. Quvurlarni ketma-ket ulashda (7.24-rasm) umumiy qarshilik.



7.24.-rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni ketma-ket ulashda o'xshashlik.



7.25-rasm. Suyuqlik va tok o'tkazgichlarda o'xshashlikka doir chizma.



7.26-rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni parallel ulashdagi o'xshashlik.

$$H_k = B_k Q$$

$$H_k = H_1 + H_2 + H_3 \quad (7.38)$$

va

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

bo'lib, (7.38) da

$$B_k = B_1 + B_2 + B_3$$

O'tkazgichlar uchun esa

$$U_k = R_k$$

$$U_k = U_1 + U_2 + U_3 \quad (7.39)$$

va

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

bo'lib, (7.39) da

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3$$

Quvurlarni parallel ulashda esa (1.99-rasm) umumiy qarshilik

$$H = B_n Q_n \quad (7.40)$$

$$H = H_1 = H_2 = H_3$$

va

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

bo'lib, (7.40) da

$$\frac{1}{B_n} = \frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{1}{B_3}$$

o'tkazgichlar uchun esa

$$U = R_n I_n \quad (7.41)$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

va

$$\frac{1}{I_n} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3}$$

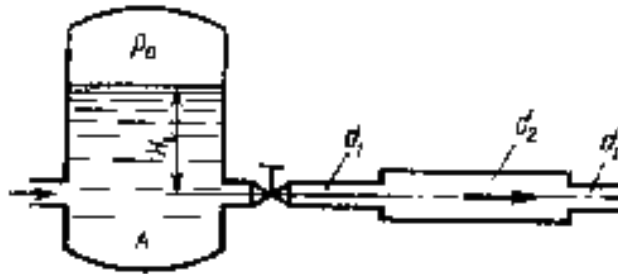
bo`lib, (7.41) da

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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 (7.27-rasm).



7.27-rasm.

Quvurlarning diametrlari, uzunligi va materiali ($\Delta; \lambda$) ma`lum bo`lib, quyidagi qiymatlarga ega bo`lsin:

$$d_1 = 150 \text{ mm}; \quad d_2 = 200 \text{ mm}; \quad d_3 = 250 \text{ mm}; \quad l_1 = 20 \text{ m}; \quad l_2 = l_3 = 15 \text{ m};$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,02 \quad H = 3,0 \text{ m};$$

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:

$$z_1 = H; \quad p_1 = p_a; \quad V_1 = 0; \quad \alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

$$z_2 = 0; \quad p_2 = p_a; \quad V_2 = ?$$

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:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Endi quvurlar tizimida yo'qolgan dam – h_f miqdorini aniqlaymiz:

Ma'lumki,

$$h_f = \sum h_e + \sum h_M$$

Quvur uzunligi bo'ylab yo'qolgan dam Darsi-Veysbax formulasi bo'yicha:

$$\sum h_e = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} = \frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasidan

$$V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = V_3 \omega_3$$

$$V_1 = \frac{\omega_3}{\omega_1} V_3; V_2 = \frac{\omega_3}{\omega_2} V_3$$

ekanligidan foydalanib, hamda $V_3 = V_2$

$$\sum h_e = \left[\frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \right] \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

yoki

$$\sum h_1 = \xi_1 \frac{V_2^2}{2g}$$

Mahalliy qarshiliklarda damning yo'qolishi ko'rilayotgan misolda, quyidagi joylarda sodir bo'ladi: quvurning kirish qismida – (ξ_1); keskin kengayishda – (ξ_2); keskin torayishda – (ξ_3); berkitgichda – (ξ_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

$$\sum h_M = \xi_1 \frac{V_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{V_2^2}{2g} + \xi_3 \frac{V_3^2}{2g} + \xi_4 \frac{V_4^2}{2g} \quad (2)$$

Yoki

$$\sum_1^1 h_M = \xi_M \frac{V_2^2}{2g}$$

Jadvaldan mahalliy qarshilik qiymatlarini olib, ξ_M ni hisoblaymiz. (1) va (2) tenglamalarini (2) qo'yib tizimda yo'qolgan dam uchun quyidagi ifodani olamiz

$$h_f = \xi_M \frac{V_2^2}{2g} + \xi_1 \frac{V_2^2}{2g} = (\xi_M + \xi_1) \frac{V_2^2}{2g}$$

Yoki

$$h_f = \xi_S \frac{V_2^2}{2g} \quad (3)$$

bu yerda: ξ_S – tizimning qarshilik koeffitsiyenti.

(3) ifodani (2) ga qo'yib

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \xi_S \frac{V_2^2}{2g}$$

bu yerdan

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_S}} \sqrt{2gH}$$

Yoki

$$V_2 = \varphi \sqrt{2gH};$$

bu yerda φ – tezlik koeffitsiyenti.

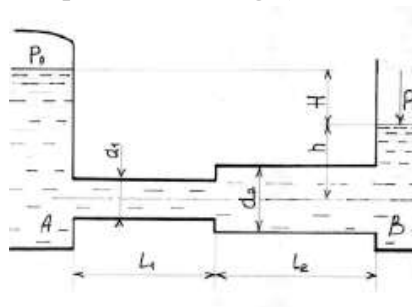
U holda quvurlar tizimi orqali oqib chiqayotgan sarf

$$Q = \mu \omega_3 \sqrt{2gH} = 0,17 \cdot \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

bu yerda μ – sarf koeffitsiyenti.

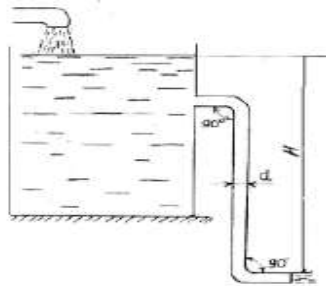
Mustaqil yechishga doir masalalar

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 (9.28-rasm).



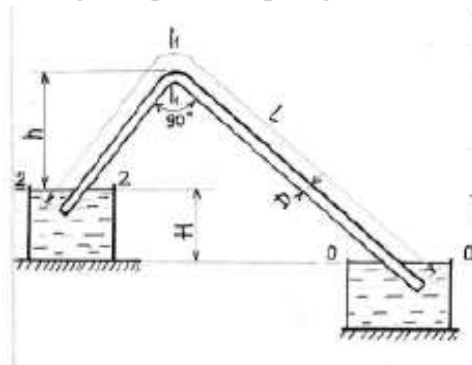
7.28-rasm.

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 (7.29-rasm).



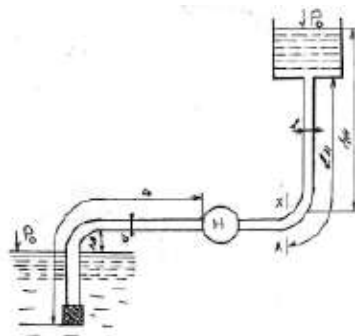
7.29-rasm.

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 (7.30-rasm).



7.30-rasm.

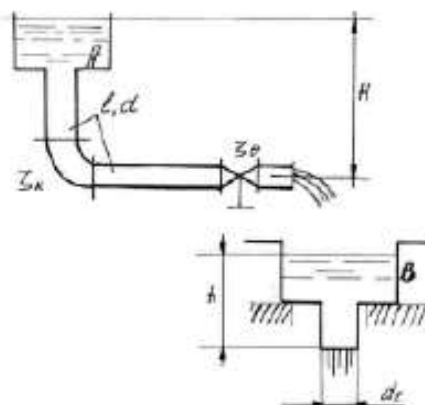
4. Markazdan qochma nasos harorati $t = 20^\circ\text{C}$ suvni diametri $d = 100 \text{ mm}$ va uzunligi m li po'lat quvur orqali $N = 30 \text{ m}$ balandlikka uzatmoqda. Agar x - x kesimdagi bosim $P_x = 0,2 \text{ mPa}$ bo'lsa quvurdagi suv sarfini aniqlang (7.31-rasm).



7.31-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 ko'effitsiyenti $\mu = 0,82$) atmosferaga oqib chiqmoqda. Agar B-rezervuardagi suyuqlik sathi $h = 2,0 \text{ m}$ bo'lsa, gidravlik ishqalanish ko'effitsiyenti $\lambda = 0,03$; 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 (7.32-rasm)



7.32-rasm.

VII bob bo'yicha nazorat savollari

1. Sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi
2. Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash
3. Murakkab quvurlar
4. Quvurlarning tarmoqlarga bo'linishi.
5. Nasosdan ta'minlanuvchi quvur

VIII BOB GIDRAVLIKANING ALOHIDA MASALALARI (MAXSUS KURS). SUYUQLIKNING BEQAROR HARAKATI

Suyuqliklar harakat qilayotgan vaqtida uning tezligi va bosimi, odatda, vaqtga bogʻliq boʻlib, bunday harakatni beqaror harakat deb atagan edik. Xususiyl holda vaqt oʻtishi bilan harakat barqarorlashib tezlik va bosim vaqtga bogʻliq boʻlmay qoladi. Yuqorida koʻrib oʻtilgan suyuqlikning quvurlardagi harakatlari va teshiklardan oqishiga koʻrilgan misollar barqaror harakatlarning asosiy masalalari qatoriga kiradi. Lekin har qanday harakat holatini oʻzgarishi beqaror harakatni vujudga keltiradi. Bir harakat holatidan ikkinchisiga oʻtish asta-sekin yoki keskin oʻzgarish bilan sodir boʻlishi mumkin. Masalan, biror idishdagi suyuqlik teshik orqali oqqanda vaqt davomida bosimning oʻzgarib borishi natijasida tezlik va sarfning ham oʻzgarishi harakat holatining asta-sekin oʻzgarib borishiga misol boʻlsa, quvurlarda joʻmraklarni yoki oʻzanlarda toʻsiqlarning keskin ochib-yopilishi vaqtidagi oʻzgarishi harakat holatining keskin oʻzgarishiga misol boʻladi. Bunday harakat vaqtida inertsia kuchlari asta-sekin yoki keskin oʻzgarib boradi. Barqaror harakat vaqtida esa inertsia kuchining oʻzgarishi sezilarsiz boʻlib, harakat holatiga deyarli taʼsir qilmaydi. Shuning uchun barqaror harakat bilan beqaror harakatni nazariy tekshirish birinchi holda inertsia kuchining oʻzgarishi hisobga olinmasligi ikkinchi holda bu oʻzgarish hisobga olinishi bilan farqlanadi.

Ideal va real suyuqliklar barqaror harakatining umumiy tenglamalari (3.25) va (3.28) koʻrinishda yoziladi. Turbulent harakat uchun esa (3.28) tenglama umumlashtirib hosil boʻlgan tenglamani Reynolds tenglamasi deyiladi.

Barqaror harakat uchun uzilmaslik tenglamasi boʻyicha oqimchani ixtiyoriy ikki kesimidagi sarflari oʻzaro teng ekanligi koʻrsatilgan edi. Barqaror harakat uchun esa bu qonun vaqtning biror aniq qiymatida toʻgʻri boʻlib, vaqt oʻtishi bilan tezlik oʻzgarganidek, sarf ham oʻzgarib boradi. Shuningdek, vaqt davomida oqim chizigʻi ham, elementar oqimcha ham oʻzgarib boradi. Bu holda 8.1-rasmda tasvirlangan sxema elementar oqimchaning biror aniq vaqtdagi holatiga toʻgʻri 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.

$$q_1 - q_2 = 0 \text{ yoki } dq = 0 \quad (8.1)$$

Bu tenglamada chap tomondagi ifoda sarfdan olingan toʻliq diferentsial boʻlib, q vaqt va yoʻl boʻyicha oʻzgarib borгани uchun, matematikada quyidagicha ifodalanadi.

$$\frac{\partial q}{\partial t} dt + \frac{\partial q}{\partial l} dl = 0. \quad (8.2.)$$

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:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial l} = 0. \quad (8.3.)$$

Bu hosil qilingan tenglama beqaror harakat elementlar oqimchasi uchun uzilmaslik tenglamasidir. Barqaror harakatdagi kabi beqaror harakat uchun ham oqimning uzilmaslik tenglamasini yozish mumkin:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + Q \frac{\partial Q}{\partial l} = 0. \quad (8.4)$$

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 hisobiga olinadi, lekin quvur deformatsiyasidan hosil bo'ladigan kuchlar bo'lmaydi.

2) gidravlik zarba 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.

8.1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertiya bosimi hisobga olingan beqaror harakati

Beqaror harakatni tekshirish uchun avval bu harakatga Bernulli tenglamasini chiqaramiz. Buning uchun kinetik energiyaning 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 energiyaning dt vaqtida o'zgarishi quyidagicha yoziladi:

$$d\left(\frac{mu^2}{2}\right) = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl \quad (8.5)$$

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:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl = \sum Pdl \quad (8.6)$$

Siqilmaydigan suyuqlik uchun massa o'zgarmas bo'lgani sababli oxirgi tenglik ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$m \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{u^2}{2} \right) dt + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{u^2}{2} \right) dl \right] = \sum P dl \quad (8.7)$$

tenglamaning ikki tomonini dt ga bo'lamiz va $\frac{\partial l}{\partial t} = u$ ekanligini nazoratga olsak

$$mu \frac{\partial u}{\partial t} + mu \frac{\partial u}{\partial l} u = \sum Pu$$

yoki

$$m \frac{\partial u}{\partial t} + mu \frac{\partial u}{\partial l} = \sum P \quad (8.8)$$

bo'ladi. 3.41 tenglamaga asosan

$$m = \rho q dt \quad (8.9)$$

(3.41) ga asosan 1-1 va 2-2 kesimlarga ta'sir qiluvchi bosim kuchlari bajargan ishlarning yig'indisi

$$A_1 - A_2 = (p_1 - p_2) g dt$$

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

$$A_1 - A_2 = -\frac{dp}{dl} q dl dt \quad (8.10)$$

suyuqlikning 1-1 kesimdan 2-2 kesimga o'tishida og'irlik kuchining bajargan ishi

$$A_3 = Q(z_1 - z_2) = \gamma q dt (z_1 - z_2) \quad (8.11)$$

yoki

$$A_3 = -\gamma q dt dz = -\gamma \frac{dz}{dl} q dl dt$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Endi (8.9), (8.10) va (8.11) munosabatlarni hisobga olgan holda (8.7) tenglamani quyidagicha yoza olamiz:

$$\rho q dt \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{u^2}{2} \right) dt + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{u^2}{2} \right) dl \right] = -\frac{\alpha p}{\partial l} q dl dt - \gamma \frac{dz}{dl} q dl dt$$

Bu tenglama (8.8) dagi ko'rinishga keltirilsa,

$$\rho q dt \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial l} \right) = -\frac{\partial p}{\partial l} q dt - \gamma \frac{dz}{dl} q dt$$

bo'ladi. Oxirgi tenglamaning ikki tomoni $\gamma q dt$ ga bo'lib, quyidagi ko'rinishda ifodalaymiz:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial l} = -\frac{1}{\gamma} \frac{dp}{dl} - \frac{dz}{dl}$$

Ba'zi o'zgarishlardan so'ng esa beqaror harakat uchun Bernulli tenglamasini differentsial ko'rinishda olamiz:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{u^2}{2g} \right) + \frac{1}{\gamma} \frac{dp}{dl} + \frac{dz}{dl} = 0 \quad (8.12)$$

Bu tenglamani oralaridagi masofa chekli l ga teng bo'lgan ikki kesim uchun integrallasak

$$\int_{u_2}^{u_1} \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} dl + \int_{u_2}^{u_1} d \left(\frac{u^2}{2g} \right) + \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{\gamma} + \int_{z_2}^{z_1} dz = 0$$

va hosil bo'lgan tenglamani chekli oraliqdagi kesimlar uchun yozsak, u holda beqaror harakat uchun Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{1}{g} \int_{u_2}^{u_1} \frac{\partial u}{\partial t} dl$$

Bu tenglamaning o'ng tomonidagi integral inertsia bosimi deb ataluvchi miqdordir:

$$h_{in} = \frac{j}{g} l,$$

bu yerda

$$j = \frac{1}{l} \int_{u_1}^{u_2} \frac{\partial u}{\partial t} dl$$

u_1 va u_2 ni $\frac{\partial u}{\partial t}$ ning birinchi va ikkinchi kesimlardagi qiymatlari bilan ifodalasak,

Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{in} \quad (8.14)$$

Bernulli tenglamasini oqim uchun yozsak, u holda tezlikning qiymatlarini uning o'rtacha qiymatlari bilan almashtirib yozamiz

$$\frac{\alpha_1 \mathcal{G}_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 \mathcal{G}_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{in} \quad (8.15)$$

Beqaror harakatning Bernulli tenglamasini real suyuqliklar uchun ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 \mathcal{G}_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 \mathcal{G}_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{1-2} + h_{in} \quad (8.16)$$

Shuni nazarda tutish kerakki, h_{in} ni birinchi va ikkinchi kesimlardagi inertsia 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 inertsia qarshiligiga bo'lgan sarfni hisoblab yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 \mathcal{Q}_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 \mathcal{Q}_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h + \sum h_{in} \quad (8.17)$$

Inertsia 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 gidrouzatmalarda esa porshenlar harakati vaqtida hosil bo'ladigan o'zgarishlar ham inertsia 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.

$$\frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{\mathcal{Q}_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + \lambda \frac{l}{D} \frac{\mathcal{Q}^2}{2g} + \frac{j}{g} l \quad (8.18)$$

Quvurdagi 2-2 kesim bilan ikkinchi idishdagi suyuqlik sathi 3-3 kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi esa quyidagicha yoziladi:

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_3}{\gamma} + z_3 + \lambda \frac{l}{D} \frac{\mathcal{Q}^2}{2g} + \frac{j}{g} l \quad (8.19)$$

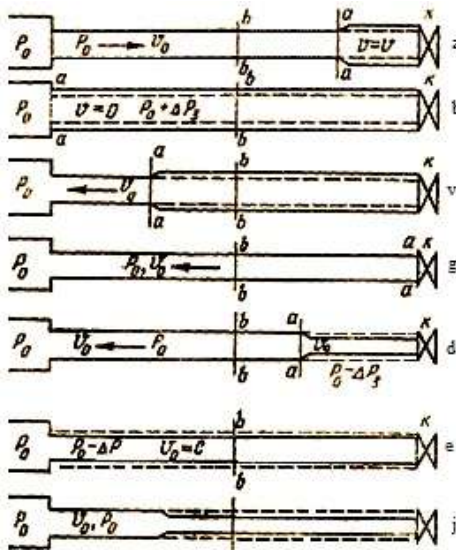
Bu yerda inertsia bosimi porshenning musbat yoki manfiy tezlikni oshiruvchi yoki susaytiruvchi yo'nalishda harakat qilishiga qarab musbat yoki manfiy ishora bilan olinadi.

8.2. Gidravlik zarba hodisasi

Quvurlarda gidravlik zarba hodisasi deformatsiyalanuvchi quvurlardagi kam siqiluvchi suyuqlikning tezligi yoki bosimi keskin o'zgarganda 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'mrak 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) e'lon qilingan. Suyuqlik V_0 tezlik va p_0 bosim bilan harakat qilayotgan quvurning oxiridagi kran jo'mrak "J" bir onda yopilsin deylik (8.1-rasm, a). U holda kranga (yopilgandan so'ng) birinchi yetib kelgan suyuqlik zarrachalarning 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 oz miqdorda bo'lsa ham hisobga olishga to'g'ri keladi, chunki shu siqilish katta va chekli miqdordagi zarba bosimi Δp_3 ni vujudga keltiradi. Shunday qilib, jo'mrak oldida hosil bo'lgan Δp_3 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 ochish chegarasi ($a-a$ kesim) jo'mrakdan ta'minlovchi idish tomonga, zarba to'liqining tezligi deb ataluvchi a tezlik bilan siljib boradi. Bosimi Δp_3 ga o'zgargan sohaning o'zi esa zarba to'liqini deb ataladi. Bu to'liq idishga yetib borganda esa, suyuqlik butun quvur bo'yicha to'xtagan va siqilgan bo'lib, quvur devorlari esa butunlay cho'zilgan bo'ladi. Bosimning zarbali ortishi Δp_3 esa quvur bo'yicha butunlay tarqalgan bo'ladi. (8.1-rasm, b). Lekin quvurdagi suyuqlik teng vaznli holatda bo'lmaydi. Bosimlar farqi Δp_3 ta'sirida suyuqlik quvurdan idishga oqa boshlaydi. Bu oqim idishning bevosita oldida turgan zarrachalardan boshlanib, uning chegarasi ($a-a$ kesim, teskari yo'nalishda) kran tomonga a tezlik bilan harakat qiladi va ketida tiklangan p_0 bosimli V_0 tezlikka ega suyuqlik oqimini qoldiradi (8.1-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 ustuni ana shu tezlik bilan oqishda davom



8.1 rasm. Gidravlik zarba hodisasini tushuntirishga doir chizma

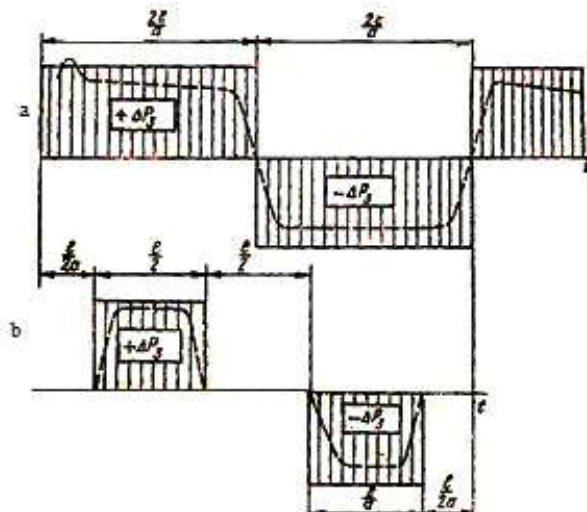
etib, jo'mrakdan uzilishga intiladi (8.1-rasm, g). Natijada krandan idishga a tezlik bilan harakat qiluvchi manfiy zarba to'liqini vujudga keladi va u bosimni p_0 ga kamaytirib, quvur devorini toraytirib, suyuqlikni kengaytiradi (8.1-rasm, d). Suyuqlikning kinetik energiyasi esa yana deformatsiya ishiga aylanadi, lekin bu ish

endi manfiy bo'ladi. Bu harakat davom etib borib, manfiy zarba to'lini ham idishgacha yetib keladi (8.1-rasm, e). Musbat zarba to'linidagi kabi bu holat ham teng vaznli bo'lmaydi va natijada quvurda yana bosim tiklana boshlaydi, suyuqlik esa V_0 tezlikka erishadi (8.1- rasm, j). Idishdan qaytgan zarba to'lini 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 energiyaning idishdagi suyuqlikka o'tishi natijasida Δp_3 kamayib borgan. Gidravlik zarbaning vaqt davomida o'tishi 9.2-rasmda diagramma ko'rinishida tasvirlangan (8.2-rasmdagi a) diagrammada jo'mrak bir onda yopilgan deb qarab, jo'mrakning oldidagi k nuqtadagi bosimning nazariyadagi o'zgarishi Δp_3 tutash chiziqli bilan tasvirlangan. Quvurning o'rtasidagi v nuqtaga zarba bosimi $\frac{l}{2a}$ vaqtga kechikib keladi va to'linning bu nuqtadan idishga borib qaytib kelgunicha, ya'ni $\frac{l}{2a}$ vaqt saqlanib turadi.

So'ng v nuqtada bosim p_0 ga tiklanadi (ya'ni $\Delta p_3 = 0$) va shu holda teskari to'lin yetib kelguncha, $\frac{l}{d}$ vaqt saqlanadi (8.2-rasm, b).

Bu haqiqiy bosim grafigi emas. Bundan tashqari, tebranish so'nib boradi, ya'ni uning amplitudasi energiyaning sarf bo'lish hisobiga kamayib boradi.



8.2-rasm. Gidravlik zarbada bosimning vaqt davomida o'zgarishi

8.3. 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_3 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 (8.3-rasm). Buning uchun biror vaqtda quvurdagi suyuqlikning jo'rak oldidagi Δl bo'lagi zarba ta'sirida siqilgan bo'lsin. U holda suyuqlikka idish tomonidan $P_1 = p_0 \omega$ bosim kuchini, kran tomonidan esa $P_2 = (p_0 + \Delta p_3) \omega$ kuchi dt vaqt ta'sir qiladi. Suyuqlikning zarba yetib kelmagan qismining harakat miqdori $\rho \omega V_0 dx$ zarba ta'siri ostidagi qismining harakat miqdori $\rho \omega Q dx$ bo'ladi. Shunday qilib, ko'rilayotgan holda harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teorema qo'llanganda muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$(p_0 + \Delta p_3) \omega dt - p_0 \omega dt = \rho \omega g_0 dx \quad (8.20)$$

Bu tenglikdan

$$\Delta p_3 \omega dt = \rho \omega g_0 dx$$

Yoki

$$\Delta p_3 = \rho g_0 \frac{dx}{dt} \quad (8.21)$$

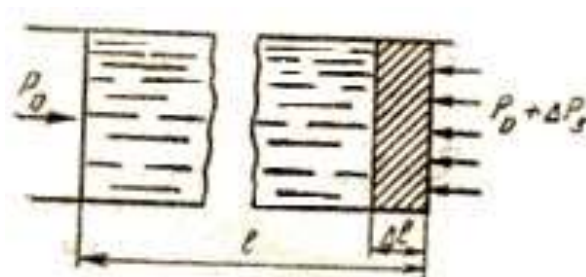
Bu yerda zarba to'lqinining tarqalish tezligi.

$$\alpha = \frac{dx}{dt} \quad (8.22)$$

dan iborat va oxirgi tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p_3 = \rho V_0 \alpha \quad (8.23)$$

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'paytmasiga teng. Agar suyuqlikda to'lqin tarqalish tezligini aniqlasak, tezlikni o'lchab (zichlik jadvallardan ma'lum), (8.23) formula yordamida zarba bosimini topa olamiz. Shuni aytish kerakki, α suyuqlikning va quvurning elastiklik xossalariga 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 quyidagiga teng:



8.3 rasm. Gidravlik zarba uchun N.E. Jukovskiy formulasini chiqarishga doir chizma



8.4 rasm. Gidravlik zarba vaqtida quvur devorining cho`zilishi

$$\frac{m g_0^2}{2} = \frac{1}{2} \pi R^2 l \rho g_0^2 \quad (8.24)$$

Quvurni deformatsiyalashga ketgan ish A_1 kuchning cho`zilishga ko`paytmasining yarmiga teng. Deformatsiya ishini zarba kuchining ΔR (8.4-rasm) yo`lga sarf bo`lgan ish sifatida topamiz:

$$A_1 = \frac{1}{2} \Delta p_3 2\pi R l \Delta R \quad (8.25)$$

Guk qonuniga asosan

$$\sigma = E \frac{\Delta R}{R} \quad (8.26)$$

Bu yerda σ -quvur devoridagi normal zo`riqish, u quvurning qalinligi  $\delta$  va zarba kuchi  $\Delta p_3$  bilan quyidagicha bog`langan:

$$\sigma = \frac{\Delta p_3}{\delta} R \quad (8.27)$$

Bu munosabatlardan foydalanib quvurni deformatsiyalash ishini quyidagicha yozamiz:

$$A_1 = \frac{\Delta p_3^2 \pi R^3 l}{\delta E} \quad (8.28)$$

Endi quvurdagi suyuqlikni Δl masofadagi (9.3-rasm) siqish ishi A_2 ni topamiz. Bunda siqilgan suyuqlik sarfi $\omega \Delta l$ desak,

$$A_2 = \frac{1}{2} \omega \Delta l \Delta p_3 = \frac{\pi R^2}{2} \Delta l \Delta p_3 \quad (8.29)$$

Guk 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

$$\dot{A}_2 = \frac{1}{2} \frac{\Delta p_3^2 \pi R^3 l}{K} \quad (8.30)$$

Kinetik energiya A_1 , va A_2 ishlarning yig'indisiga teng, ya'ni

$$\frac{1}{2} \pi R^2 \rho g_0^2 = \frac{\Delta p_3^2 \pi R^3 l}{\delta E} + \frac{\Delta p_3^2 \pi R^2 l}{2K} \quad (8.31)$$

Bu tenglamani Δp_3 , ga nisbatan yechsak

$$\Delta p_3 = \rho g_0 \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}} \quad (8.32)$$

N. E. Jukovskiy formulasini umumiyroq ko'rinishda topdik.

(8.32) ni (8.23) bilan solishtirsak, suyuqlikda to'lqin tarqalish tezligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}} \quad (8.33)$$

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

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (8.34)$$

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'lqinining tarqalish tezligi (8.33) 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.

8.4. Teskari gidravlik zarba haqida tushuncha

Agar jo'mrak to'liq yopilmasa va suyuqlikning tezligi butunlay so'nmasa hamda u v_0 dan v ga kamaysa, bunda chala gidravlik zarba hosil bo'ladi. Bunday zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p_3 = \rho(v_0 - v)\alpha \quad (8.35)$$

Bu formula jo'mrakning bir onda (juda tez) yopilgan holi uchun to'g'ri bo'ladi. Agar jo'mrakning yopilish vaqtini t_δ desak va gidravlik zarbaning jo'mrakdan idishga borib, undan qaytib kelish vaqtini t_0 desak, u holda

$$t_\delta < t_0$$

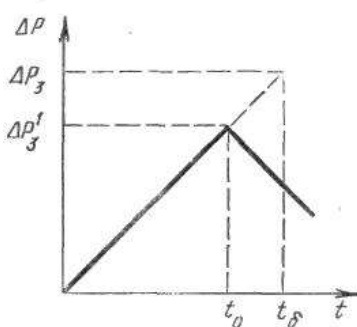
bo'lganda kranning yopilishi oniy bo'lgan deb qarash mumkin. Bunda t_0 *gidravlik zarbaning fazasi* deyiladi, zarbaning o'zini esa *to'g'ri gidravlik zarba* deyiladi. $t_\delta > t_0$ bo'lganda esa teskari gidravlik zarba deyiladi va zarba to'liqini kran butunlay yopilib ulgurmasidan oldin idishdan qaytib 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

$$\frac{\Delta p'_3}{\Delta p_3} = \frac{t_0}{t_\delta}$$

munosabat o'rinli bo'ladi. Bundan:

$$\Delta p'_3 = \Delta p_3 \frac{t_0}{t_\delta} = \rho v_0 \alpha \frac{2l}{\alpha t_\delta} = \frac{2\rho v_0 l}{t_\delta} \quad (8.36)$$

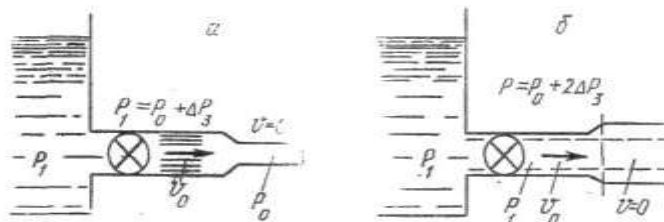


8.5-rasm. To'g'ri va noto'g'ri zarbada bosimning ortishi

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 8.6-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 a tezlik bilan quvurning ikkinchi uchi tomonga qarab harakat qiladi (10.6-rasm, a).



8.6-rasm Noto'g'ri gidravlik zarbani tushuntirishga doir chizma

N. E. Jukovskiy formulasidan:

$$v_0 = \frac{\Delta p_3}{\rho a}$$

Zarba to'liqini tupiksimon quvurning oxiriga kelganda butun quvur bo'yicha bosim Δp_T ga ortadi, tezlik esa quvur oxirigacha v_0 qiymatga ega bo'ladi. Suyuqlik bundan nariga oqa olmagan uchun uning tezligi so'nib, kinetik energiyasi, yangi qo'shimcha zarba to'liqinining hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Yangi zarba to'liqinining bosimi ham, N. E. Jukovskiy formulasiga asosan $\Delta p_3 = \rho v_0 a$ bo'lib, quvurdagi bosimning umumiy oshishi $2\Delta p_3$ ga teng bo'ladi (8.6-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 $2\Delta p_3$ dan kichik bo'ladi.

Ikkinchi idish hajmi juda katta bo'lsa, ikkinchi zarba to'liqini deyarlik bo'lmaydi. Zarba bosimining ikki baravar ortish hali 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. (8.23) 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 p_0 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_3 ning (8.23) 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_3 juda katta qiymatlar (bir nesda va hatto o'nlar mH/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 rele, gidroqlamlar va h.) ning to'satdan ishlay boshlashiga sabab bo'ladi. Bunday hollarda gidravlik zarbaga qarshi kurash usullaridan foydalanish kerak bo'ladi.

8.5. Gidravlik zarbani susaytirish usullari

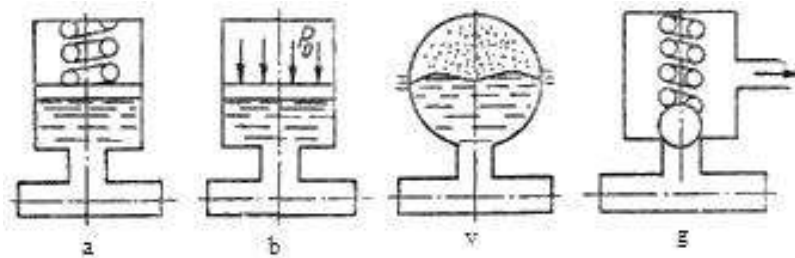
Gidravlik zarba ta'sirini susaytirish turli usullar bilan amalga oshiriladi.

Birinchi usul – jo'mrakning keskin ochilish yoki yopilish vaqti t ni uzaytirib, $t > \frac{2l}{a}$ ga yetkazish yo'li bilan to'g'ri gidravlik zarbani yo'qotib, Δp_3 ni kamaytirish. Bu ish, odatda, drosselli rele yordamida bajariladi. Odatda, jo'mrakning holati (ochiq yoki yopiq) o'zgartirilganda 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 tutashtirish bosimning o'zgarishi 22 MH/m² atrofida va $t \approx 0,1s$ bo'lganda ishonchli 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 tuzilishga ega (8.7-rasm). Eng ko'p tarqalgan so'ndirgichlar elastik elementi prujina (8.7-rasm, *a*) va gaz (8.7-rasm, *b*) bo'lgan porshenli, membranali (8.7-rasm, *b*) va klapanli (8.7-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'liqlinining 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 tutashtiruvchi kanaldagi suyuqlikning inertligi qo'shiladi. Bu kuchlar zarba to'lqinining 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 oshib ketishi



8.8 - rasm. Turli so'ndirgichlar

mumkin. Natijada so'ndirgich zarba energiyasini yutish o'rniga kuchaytirishi mumkin. Inertlikni kamaytirish maqsadida so'ndirgichni gaz va suyuqlikni ajratuvchi elastik membrana bilan ta'minlanadi (8.8-rasm, v). Yuqorida aytilganidek, so'ndirgichda tebranma harakatning bo'lish va zarba to'lqinining kuchayishiga quvur bilan so'ndirgichni tutashtiruvchi kanalning uzunligi va diametrining ta'siri bor ekanligi tajribalarda tekshirilgan. Shuning uchun kanalning uzunligini va diametrini to'lqinlarga kamroq ta'sir qiladigan qilib tanlab olinadi. Zarba to'lqinlarini klapanli so'ndirgichlar (8.8-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'lqini davrining ortishi natijasida to'g'ri zarbani yo'qotish yo'li bilan zarba to'lqinining ta'siri kamaytiriladi

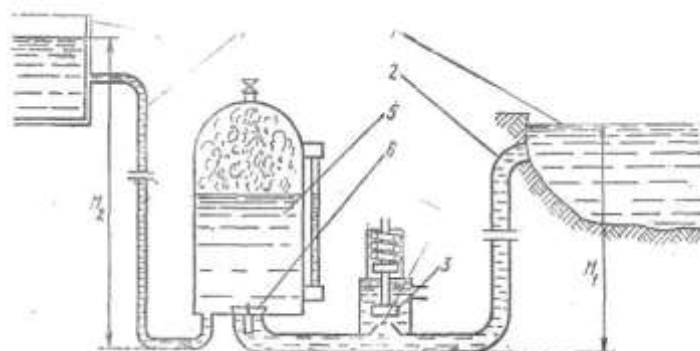
8.6. Gidravlik zarbadan amalda foydalanish

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 xabarchi klapandan iboratdir (8.9- 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 3 ga kirishda oqimning kesimi torayib boradi (tirqish 4) va Bernulli printsiptiga 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 koeffitsiyentini aniqlash uchun Eytelveyn quyidagi formulani taklif qilgan



8.9-rasm. Gidravlik taran

$$\eta = 1,12 - 0,2 \sqrt{\frac{H_2 - H_1}{H_1}} \quad (10.37)$$

bu yerda H_1 , H_2 - ta'minlovchi va qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathining balandligi.

Ba'zida zarba bosimi Δp_3 ni kamaytirishdan ko'ra sistemaning zaif qismlarining mustahkamligini oshirishni afzal ko'riladi.

VIII bob bo'yicha nazorat savollari

1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsia bosimi hisobga olingan beqaror harakati
2. Hidravlik zarba hodisasi
3. To'g'ri zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi
4. Hidravlik zarbadan amalda foydalanish
5. Hidravlik taran.

IX BOB. OQIMNING DEVORLAR BILAN O`ZARO TA`SIRLASHUVI

Quvurda oqayotgan suyuqlik undan chiqqandan keyin ham o`z harakatini davom etdiradi. 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, turbinalarni hisoblash, gidromashinalarning boshqaruv apparatlari, tusiqlarni oqimcha bilan buzish va boshqa ishlarda qo`llaniladi.

9.1. 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`zgalmas to`siqqa ta'sir qiluvchi kuchini aniqlashdan boshlaymiz (9.1-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  $m_3u_3$  ekanini hisobga olgan holda  $x-x$  o`qi bo`yicha harakat miqdorining o`zgarishi qonunidan quyidagi tenglikka ega bo`ladi.

$$m_2u_2 \cos \alpha + m_3u_3 \cos \alpha - m_1u_1 = -Rdt \quad (9.1)$$

bu yerda R – oqimchaga devorning reaktsiya kuchi.

Ko`rilayotgan hajmi uchun $m_2 = m_3$, $u_2 = u_3$ ni nazarga olib, bu tenglikni quyidagicha yozamiz:

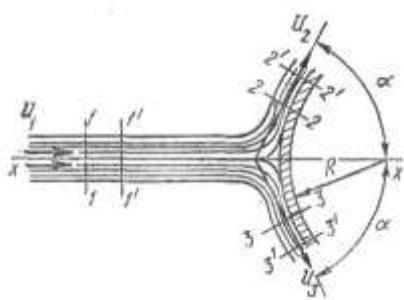
$$2m_2u_2 \cos \alpha - m_1u_1 = -Rdt \quad (9.2.)$$

Yuqorida aytilganga asosan, to`siqning simmetrikligidan  $m_1 = 2m_2$  ekanligi ko`rinadi. Bu holda (9.2) tenglamani bunday ifodalaymiz:

$$Rdt = m_1u_1(1 - \cos \alpha) \quad (9.3)$$

Ikkinchi tomondan,

$$m_1 = \rho q dt = \frac{\gamma q}{g} dt$$



9.1-rasm. Oqimchaning to'siqqa urilishi

bo'lganligi uchun

$$R dt = \frac{\gamma q}{g} u_1 (1 - \cos \alpha) dt \quad (9.4)$$

Shunday qilib, oqimchaga devorning reaksiya kuchini quyidagi formula bilan hisoblash mumkin:

$$R = \frac{\gamma q}{g} u_1 (1 - \cos \alpha) \quad (9.5)$$

Oqimchaning devorga ta'sir kuchi esa reaksiya kuchiga teng va teskari yo'nalgan bo'lib, $q = d\omega u_1$ ni hisobga olsak, quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = \frac{\gamma u_1^2}{g} d\omega (1 - \cos \alpha) \quad (9.6)$$

9.2. Oqimning devorga ta'sir kuchi

Yuqorida keltirilgan oqimchaning to'siqqa bo'lgan ta'sir kuchidagi tezlikni o'rtacha tezlik V bilan, elementar yuza $d\omega$ ni oqimning yuzasi ω bilan almashtirsak, oqimning devorga ta'sir kuchi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \quad (9.7)$$

Bu formula o'lchamlari katta bo'lmagan dumaloq plastinka (9.2-rasm, a) va yarimsfera (9.2-rasm, b) uchun ham to'g'ri. Agar devor bilan oqim yo'nalishi orasidagi burchak $\alpha = 90^\circ$ bo'lsa (9.2-rasm, v), u holda (9.7) formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

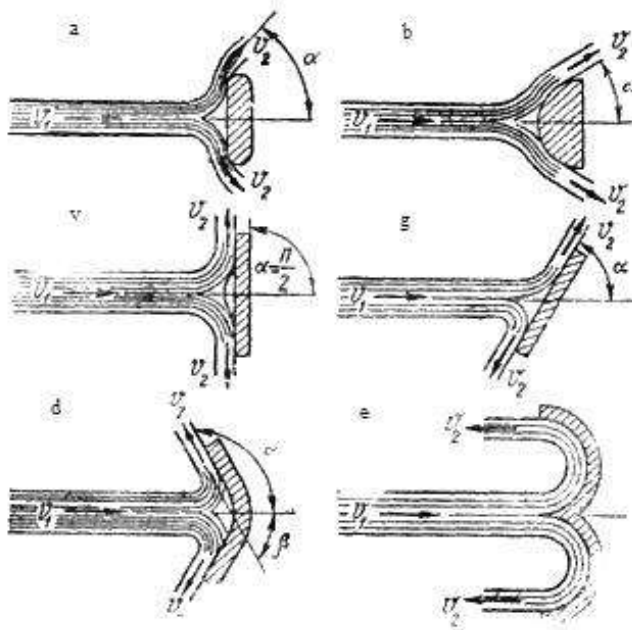
$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \quad (9.8)$$

Devor oqim chiqayotgan teshikka juda yaqin bo'lganda oxirgi formulaga oqimning teshikdan yoki naychadan oqib chiqish formulasini qo'yish mumkin.

$$g = \varphi \sqrt{2gH} \quad (9.9.)$$

Tezlik koeffisientini taxminan birga teng deb qabul qilsak, u holda bo'ladi.

$$p = 2\gamma H\omega \quad (9.10.)$$



9.2-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 (9.2-rasm, d), $180-\alpha$ -ni β bilan belgilab, (9.7) formulani quyidagicha yozamiz:

$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega (1 + \cos \beta) \quad (9.11)$$

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

$$P = \frac{2\gamma g^2}{g} \omega \quad (9.12.)$$

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° orqaga qaytaradigan qilib loyihalanadi. Oqim uning yo'nalishiga α burchak ostida qo'yilgan tekis devorga urilganda esa (9.3- rasm, g) bosim quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \sin \alpha \quad (9.13)$$

Bu holda oqimning devorga zarbasi qiya zarba deyiladi. Devorga tushadigan normal bosim esa bunday hisoblanadi:

$$P_N = P \sin \alpha = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \sin^2 \alpha \quad (9.14)$$

Agar devor oqimga yoki qarama-qarshi tomonga qarab biror g' tezlik bilan harakat qilsa, unda birinchi holda oqimchaning tezligi $\frac{g+g'}{g}$ nisbatda ortib, ikkinchi holda esa $\frac{g-g'}{g}$ nisbatda kamayadi. Bu hollarda bosim ham tegishli miqdorda ortadi yoki kamayadi:

$$P = \frac{\gamma(g \pm g')^2}{g} \omega.$$

IX bob bo'yicha nazorat savollari

1. Oqimning devorga ta'sir kuchi
2. Oqimning devorga urilishning turlari
3. Oqimchaning to'siqlarga ta'siri

X BOB. GIDRODINAMIKA BO'LIMIGA DOIR HISOB GRAFIK ISHLARI

10.1. Ideal suyuqliklar uchun

(10.1-TUR)

Ochiq idishga har xil diametrli quvurlardan tuzilgan truboprovod ulangan (10.1-rasm). Truboprovoddan suyuqlik ($\rho = 1 \text{ t/m}^3$) atmosferaga oqib chiqmoqda, idishdagi suyuqlik sathi o'zgarmas bo'lganda, $\nabla = \text{const}$.

Berilgan: suyuqlik – ideal;

$$H = 1,8 \text{ m}$$

$$a = 0,7 \text{ m}$$

$$l_1 = 10 \text{ m}$$

$$l_2 = 14 \text{ m}$$

$$l_3 = 8 \text{ m}$$

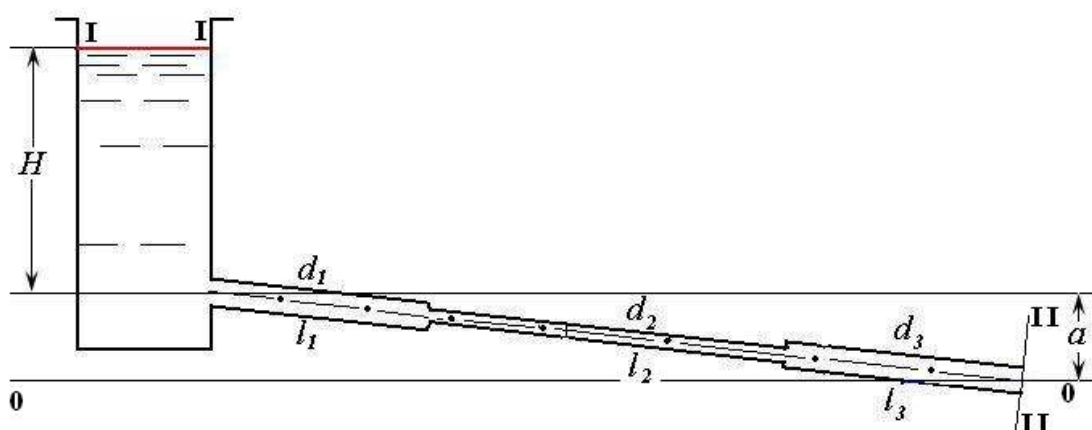
$$d_1 = 150 \text{ mm}$$

$$d_2 = 100 \text{ mm}$$

$$d_3 = 120 \text{ mm}$$

Talab qilinadi:

- a) Suyuqlik sarfini aniqlang, m^3/s va l/s da
- b) Napor va pezometrik chiziqlarini quring;
- v) Truboprovodning N-N kesimidagi bosimni aniqlang.



10.1-rasm.

Ideal holatdagi barqaror harakatlanayotgan suv oqimi uchun Bernulli tenglamasini qo'llanish qoidasiga asosan, berilgan quvurlar sistemasining chiqish sohasidan uchinchi quvur og'irlik markazidan o'tuvchi gorizontall yo'nalishda 0-0 taqqoslash tekisligini o'tkazib, sistemaga kirish va chiqish sohasida oqim harakatiga ko'ndalang tarzda 1-1 va 2-2 kesimlar tanlaymiz (10.1-rasmga qarang). Tanlangan ikki kesim oralig'idagi ideal suyuqliklar oqimi uchun 0-0 taqqoslash tekisligiga nisbatan bu kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}.$$

Tenglama hadlarini yozamiz:

1-1 kesim uchun:

$$z_1 = H + a$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$u_1 = 0$$

2-2 kesim uchun:

$$z_2 = 0$$

$$p_2 = p_{at}$$

$$u_1 = u_{II} = u_3$$

Bundan,

$$H + a + \frac{p_{at}}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{u_{II}^2}{2g}$$

yoki,

$$H + a = \frac{u_{II}^2}{2g}.$$

Oxirgi tenglamadan 2-2 kesimdagi 3-quvurdan oqayotgan oqim tezligini aniqlashimiz mumkin:

$$u_3 = \sqrt{2g(H + a)} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (1,8 + 0,7)} = 7 \text{ m / s}.$$

2-2 kesimdagi quvurning ko'ndalang kesim yuzasini aniqlasak,

$$\omega_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} = 0,785 d_3^2 = 0,785 \cdot 0,12^2 = 0,0113 \text{ m}^2.$$

Oqim sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \omega_3 v_3 = 0,0113 \cdot 7 = 0,0791 \text{ m}^3/\text{s} = 79,1 \text{ l / s}.$$

Bernulli tenglamasiga asosan to'liq napor quyidagicha aniqlanadi:

$$H_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = H + a.$$

Demak, tenglamaga asosan, ideal holatdagi suyuqliklar uchun to'liq napor chizig'i idishdagi suv sathidan o'tib, suyuqlik ideal holatdaligini inobatga olib, butun sistema uchun bir xil balandlikda bo'ladi deb qabul qilamiz.

Pezometrik napor quyidagicha aniqlanadi:

$$H_p = z + \frac{p}{\gamma} \quad \text{yoki} \quad H_p = H_e - \frac{u^2}{2g}.$$

10.1-Rasmdan ko'rinib turibdiki, quvurlar diametri turlicha bo'lganligi sababli, tezliklar ham turlicha bo'ladi. Shuning uchun, pezometrik napor chizig'ini qurish uchun o'zgaruvchan quvurlardagi tezliklarni aniqlashimiz lozim bo'ladi. Chunki, pezometrik napor chizig'i doimo to'liq napor chizig'idan tezlik naporiga teng masofada pastda unga parallel tarzda joylashadi.

1-quvurdagi tezlik:

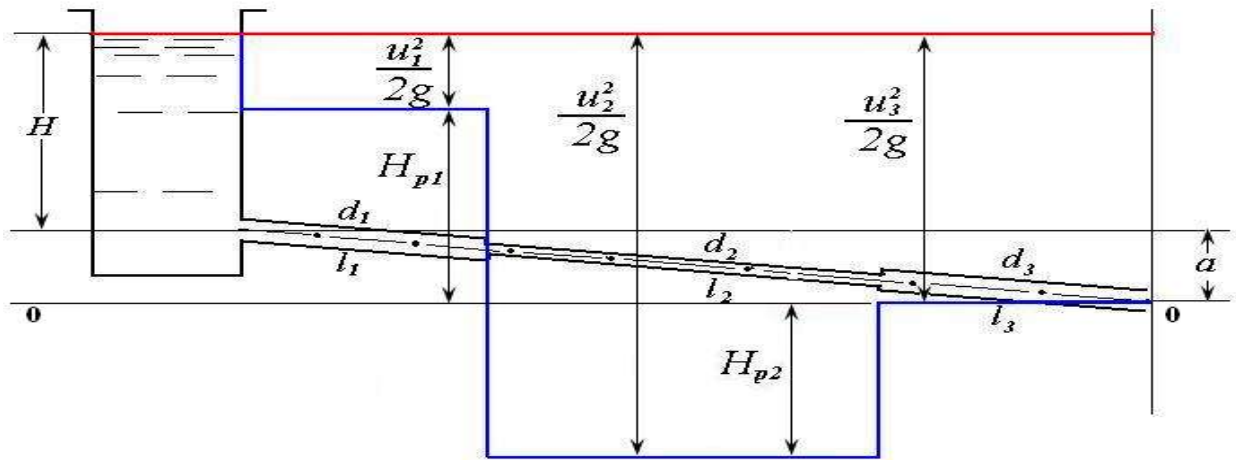
$$u_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,0791}{3,14 \cdot 0,15^2} = \frac{0,224}{0,07065} = 4,48 \text{ m / s}.$$

Taqqoslash tekisligiga nisbatan pezometrik napor chizig'i

$$H_{p1} = H + a - \frac{u_1^2}{2g} = 1,8 + 0,7 - \frac{4,48^2}{2 \cdot 9,81} = 2,5 - 1,02 = 1,48 \text{ m}.$$

2-quvurdagi tezlik:

$$u_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 0,0791}{3,14 \cdot 0,1^2} = 10,08 \text{ m / s .}$$



10.2-rasm.

Taqqoslash tekisligiga nisbatan pezometrik napor chizig'i

$$H_{p2} = H + a - \frac{u_2^2}{2g} = 1,8 + 0,7 - \frac{10,08^2}{2 \cdot 9,81} = 2,5 - 5,18 = -2,68 \text{ m .}$$

3-quvurdagi tezlik:

$$u_3 = \frac{Q}{\omega_3} = \frac{4Q}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 0,0791}{3,14 \cdot 0,12^2} = 7 \text{ m / s}$$

$$H_{p3} = H + a - \frac{u_3^2}{2g} = 1,8 + 0,7 - \frac{7^2}{2 \cdot 9,81} = 2,5 - 2,5 = 0$$

Olingan natijalarni rasmda belgilaymiz.

10.2- TURI

Suyuqlik ($\rho = 1 \text{ m / m}^3$) A idishdan B idishga har xil diametrli quvurlardan tuzilgan truboprovod orqali uzatilmoqda (10.3-rasm.). Suyuqlik B idishdan uning devoridagi dumaloq teshik orqali atmosferaga oqib chiqmoqda.

Berilgan:

Suyuqlik – ideal;

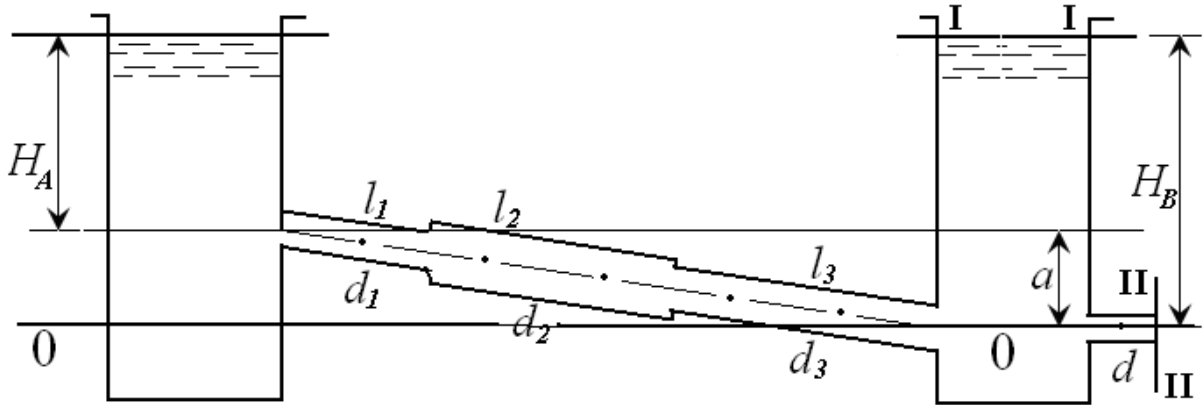
$$H_B = 1,3 \text{ m , } \quad a = 0,5 \text{ m , } \quad l_1 = 2 \text{ m , } \quad l_2 = 4 \text{ m}$$

$$l_3 = 5 \text{ m , } \quad d_1 = 100 \text{ mm , } \quad d_2 = 150 \text{ mm , } \quad d_3 = 120 \text{ mm}$$

$$d = 70 \text{ mm}$$

Talab qilinadi:

- Suyuqlik sarfini aniqlang, m^3/s va l/s da
- Napor va pezometrik chiziqlarini quring;
- A idishdagi H chuqurlikni aniqlang.



10.3 -rasm.

Hisoblash tartibi:

Tanlangan ikki kesim oralig'idagi ideal suyuqliklar oqimi uchun 0-0 taqqoslash tekisligiga nisbatan bu kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

1-1 kesim uchun:

$$z_1 = H_B$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$u_1 = 0$$

2-2 kesim uchun:

$$z_2 = 0$$

$$p_2 = p_{at}$$

$$u_2 = u_{II}$$

Bundan

$$H_B + \frac{p_{at}}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{u_{II}^2}{2g}$$

yoki

$$H_B = \frac{u_{II}^2}{2g}$$

oxirgi tenglamadan 2-2 kesimdagi tezlikni aniqlashimiz mumkin:

$$u_{II} = \sqrt{2gH_B} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,3} = 5,05 m/s$$

2-2 kesimdagi quvurning ko'ndalang kesim yuzasini aniqlasak,

$$\omega_{II} = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 d^2 = 0,785 \cdot 0,07^2 = 0,004 m^2$$

oqim sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \omega_{II} \nu_{II} = 0,004 \cdot 5,05 = 0,02 \text{ m}^3/\text{s} = 20 \text{ l/s}.$$

Bernulli tenglamasiga asosan to'la napor quyidagicha aniqlanadi:

$$H_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = H_B$$

Demak, tenglamaga asosan, ideal holatdagi suyuqliklar uchun to'liq napor chizig'i idishdagi suv sathidan o'tib, suyuqlik ideal holatdaligini inobatga olib, butun sistema uchun bir xil balandlikda bo'ladi deb qabul qilamiz.

Pezometrik napor quyidagicha aniqlanadi:

$$H_p = z + \frac{p}{\gamma} \text{ yoki } H_p = H_e - \frac{u^2}{2g}$$

Tenglamadan ko'rinib turibdiki, pezometrik napor chizig'ini qurish uchun o'zgaruvchan quvurlardagi tezliklarni aniqlashimiz lozim bo'ladi.

1-quvurdagi tezlik:

$$u_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 0,1^2} = \frac{0,08}{0,0314} = 2,55 \text{ m/s}$$

Taqqoslash tekisligiga nisbatan pezometrik napor chizig'i

$$H_{p1} = H_B - \frac{u_1^2}{2g} = 1,3 - \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} = 1,3 - 0,33 = 0,97 \text{ m}$$

2-quvurdagi tezlik:

$$u_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 0,15^2} = 1,13 \text{ m/s}$$

$$H_{p2} = H_B - \frac{u_2^2}{2g} = 1,3 - \frac{1,13^2}{2 \cdot 9,81} = 1,3 - 0,07 = 1,23 \text{ m}$$

3-quvurdagi tezlik:

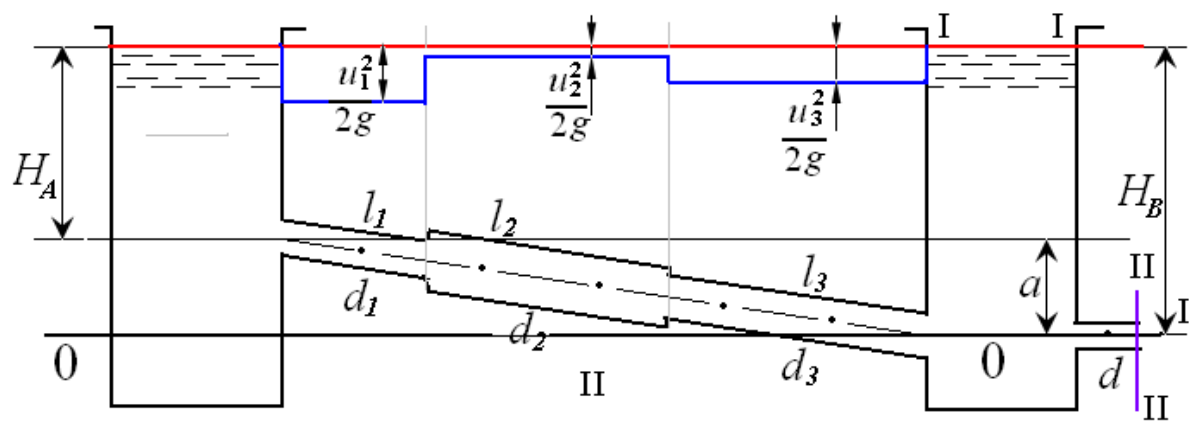
$$u_3 = \frac{Q}{\omega_3} = \frac{4Q}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 0,12^2} = 1,77 \text{ m/s}$$

$$H_{p3} = H_B - \frac{u_3^2}{2g} = 1,3 - \frac{1,77^2}{2 \cdot 9,81} = 1,3 - 0,16 = 1,14 \text{ m}$$

Olingan natijalarni chizmada belgilaymiz.

A idishdagi H_A chuqurlik quyidagicha aniqlanadi:

$$H_A = H_B - a = 1,3 - 0,5 = 0,8 \text{ m}$$



10.4-rasm.

9.3-TURI

Suyuqlik ($\rho = 1 \text{ t/m}^3$) idishdan to'g'ri to'rtburchakli lotokka har xil diametrli quvurlardan tuzilgan truboprovod orqali uzatilmoqda (10.5-rasm). Suyuqlik truboprovoddan lotokdagi suyuqlik sathi ostida oqib chiqmoqda.

Berilgan: Suyuqlik – ideal;

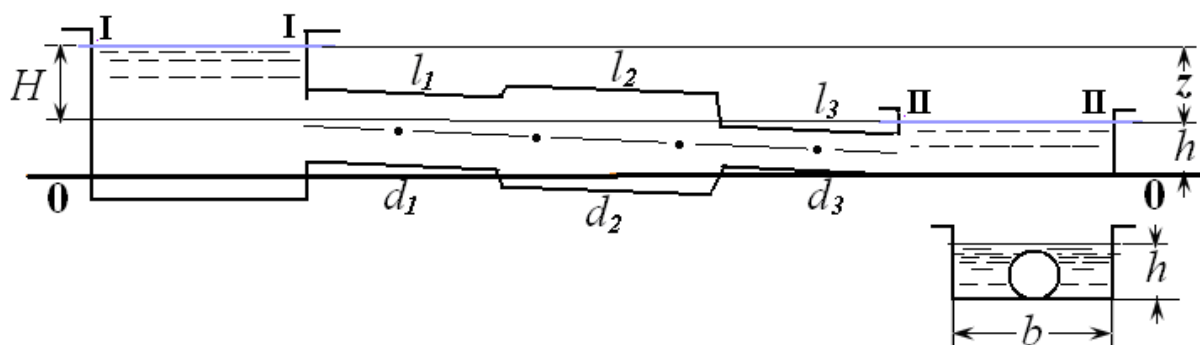
$$h = 1,2 \text{ m}; \quad d_3 = 0,36 \text{ m}; \quad l_3 = 10 \text{ m};$$

$$H = 0,4 \text{ m}; \quad z = 0,4 \text{ m};$$

$$b = 0,8 \text{ m}; \quad d_1 = 500 \text{ mm};$$

$$l_1 = 15 \text{ m}; \quad d_2 = 700 \text{ mm};$$

$$l_2 = 12 \text{ m}; \quad d_3 = 300 \text{ mm};$$



10.5-rasm.

Talab qilinadi:

- Suyuqlik sarfini aniqlang m^3/s va l/s da.
- Napor va pezometrik chiziqlarini quring.
- Truboprovodning H -Hkesimdagi bosimni aniqlang.

Hisoblash tartibi:

Tanlangan ikki kesim oralig'idagi ideal suyuqliklar oqimi uchun 0-0 taqqoslash tekisligiga nisbatan bu kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

1-1 kesim uchun:

$$z_1 = z + h$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$u_1 = 0$$

Bundan

2-2 kesim uchun:

$$z_2 = h$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$u_1 = u_{II}$$

$$z + h + \frac{p_{at}}{\gamma} + 0 = h + \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{u_{II}^2}{2g}$$

yoki

$$z = \frac{u_{II}^2}{2g}.$$

Oxirgi tenglamadan 2-2 kesimdagi tezlikni aniqlashimiz mumkin:

$$u_{II} = \sqrt{2gz} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,4} = 2,8 \text{ m/s}.$$

2-2 kesimdagi lotokning harakatdagi kesim yuzasini aniqlasak,

$$\omega_{II} = bh = 0,8 \cdot 0,36 = 0,29 \text{ m}^2.$$

Sarf quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \omega_{II} v_{II} = 0,29 \cdot 2,8 = 0,81 \text{ m}^3/\text{s} = 810 \text{ l/s}.$$

Bernulli tenglamasiga asosan to'la napor quyidagicha aniqlanadi:

$$H_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = z + h$$

Demak, tenglamaga asosan, ideal holatdagi suyuqliklar uchun to'liq napor chizig'i idishdagi suv sathidan o'tib, suyuqlik ideal holatdaligini inobatga olib, butun sistema uchun bir xil balandlikda bo'ladi, deb qabul qilamiz.

Pezometrik napor quyidagicha aniqlanadi:

$$H_p = z + \frac{p}{\gamma} \quad \text{yoki} \quad H_p = H_e - \frac{u^2}{2g}$$

Tenglamadan ko'rinib turibdiki, pezometrik napor chizig'ini qurish uchun o'zgaruvchan quvurlardagi tezliklarni aniqlashimiz lozim bo'ladi.

1-quvurdagi tezlik:

$$u_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,81}{3,14 \cdot 0,5^2} = \frac{3,24}{0,785} = 4,1 \text{ m/s}.$$

Taqqoslash tekisligiga nisbatan pezometrik napor chizig'i

$$H_{p1} = z + h - \frac{u_1^2}{2g} = 0,4 + 0,36 - \frac{4,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,76 - 0,86 = -0,1 \text{ m}$$

2-quvurdagi tezlik:

$$u_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = \frac{4 \cdot 0,81}{3,14 \cdot 0,7^2} = \frac{3,24}{1,54} = 2,1 \text{ m/s}$$

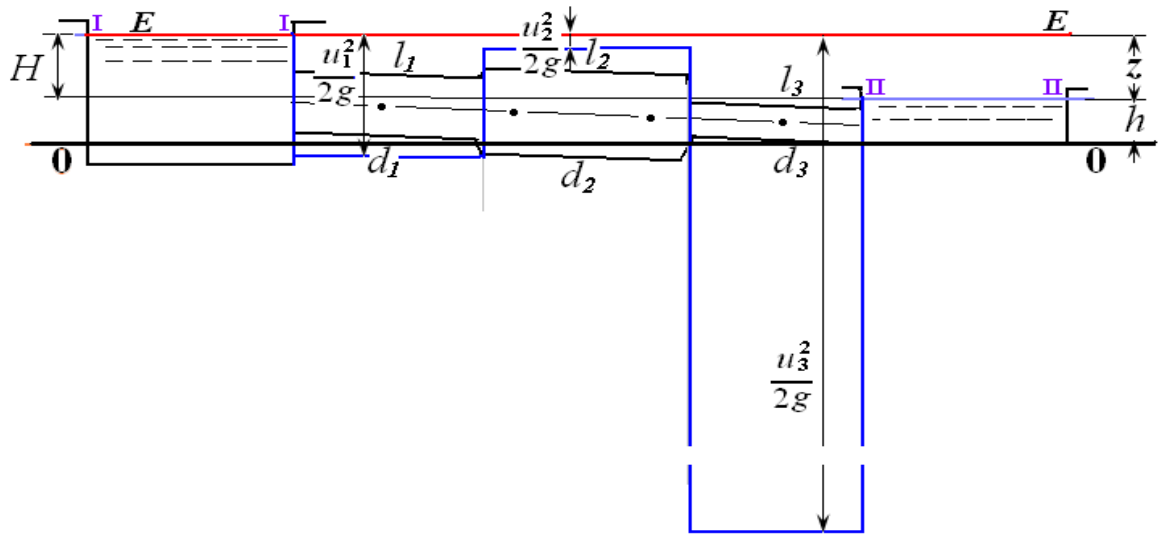
$$H_{p2} = z + h - \frac{u_2^2}{2g} = 0,4 + 0,36 - \frac{2,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,76 - 0,22 = 0,54 \text{ m}$$

3-quvurdagi tezlik:

$$u_3 = \frac{Q}{\omega_3} = \frac{4Q}{\pi d_3^2} = \frac{4 \cdot 0,81}{3,14 \cdot 0,3^2} = \frac{3,24}{0,28} = 11,57 \text{ m/s}$$

$$H_{p3} = z + h - \frac{u_3^2}{2g} = 0,4 + 0,36 - \frac{11,57^2}{2 \cdot 9,81} = 0,76 - 6,82 = -6,06m.$$

Olingan natijalarni chizmada ifodalaymiz:



10.6-rasm.

10.2 Oqim harakat rejimiga bog'liq

10.2.1-TUR

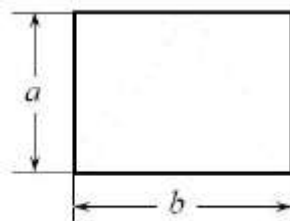
Kesimi to'rtburchak bo'lgan quvurda harorati $t = 16^{\circ}C$ bo'lgan suyuqlik harakat qilmoqda.

Berilgan: $a = 30sm$, $b = 20sm$, $Q = 40l/s = 40000sm^3/s$,

g'adir-budurlikning o'rtacha balandligi $\Delta = 0,8mm$

Talab qilinadi:

- quvurdagi suv harakatining tartibini va qarshilik sohasini aniqlang;
- gidravlik ishqalanish koeffitsienti λ , gidravlik nishablik va quvurning $l = 500m$ uzunligida yo'qotilgan naporni aniqlang.



10.2.1-rasm.

Quvurda harakatlanayotgan suv oqimining harakat tartibini Reynolds soniga asosan aniqlaymiz:

$$Re = \frac{v \cdot 4R}{\nu}.$$

bu yerda v – quvurdagi suvning oʻrtacha tezligi boʻlib, oqimning uzluksizlik tenglamasidan foydalanib aniqlaymiz:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{40000}{600} = 66,7 \text{ sm/s.}$$

Bunda ω – quvurning koʻndalang kesim yuzasi:

$$\omega = ab = 30 \cdot 20 = 600 \text{ sm}^2.$$

R – quvurning gidravlik radiusi, ixtiyoriy shakldagi kesim uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{600}{100} = 6 \text{ sm}$$

χ – quvurning hoʻllangan perimetri, toʻrtburchak quvur uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$\chi = 2(a + b) = 2(30 + 20) = 100 \text{ sm}.$$

$$\text{Demak, } Re = \frac{v \cdot 4R}{\nu} = \frac{66,7 \cdot 4 \cdot 6}{0,0112} = 142928,6.$$

Suv harakatining tartibi Reynolds soniga asosan aniqlanadi:

Agar $Re < Re_{kr}$ boʻlsa, oqimning laminar harakati kuzatiladi, bunda naporli quvurlar uchun Reynolds sonining kritik qiymati $Re_{kr} = 2320$ ga teng.

Agar $Re > Re_{kr}$ boʻlsa, oqimning turbulent tartibdagi harakati kuzatiladi. Bizning holatda $Re = 142928,6 > Re_{kr} = 2320$, demak quvurda suyuqlik oqimining turbulent tartibdagi harakati mavjud ekan.

Oqimning laminar harakatida gidravlik ishqalanish koeffitsienti Puazeyl tomonidan taklif qilingan formula yordamida aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Agar $Re_{kr} < Re < 4000$ boʻlsa, oqimning laminar harakatidan turbulent harakatiga oʻtish sohasi hisoblanadi, bunda gidravlik ishqalanish koeffitsienti 1913 yilda Blazius tomonidan taklif qilingan quyidagi formulaga asosan aniqlanadi:

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

Agar $Re > Re_{kr}$ boʻlsa, oqimning turbulent harakati kuzatiladi. Oqimning turbulent harakati oʻz navbatida uchta sohaga boʻlinadi.

$4000 < Re < 20 \cdot 4R/\Delta$ boʻlsa, oqim turbulent harakatining silliq quvurlar sohasi hisoblanadi, bu sohada ham gidravlik ishqalanish koeffitsienti Blazius tomonidan taklif qilingan formulaga asosan aniqlanadi:

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

Agar $20 \cdot 4R/\Delta < Re < 500 \cdot 4R/\Delta$ bo'lsa, oqim turbulent harakatining kvadrat qarshilikkacha bo'lgan sohasi hisoblanadi, bu sohada gidravlik ishqalanish koeffitsienti A.D.Altshul tomonidan taklif qilingan formulaga asosan aniqlanadi:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{4R} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}.$$

Agar $Re > 500 \cdot 4R/\Delta$ bo'lsa, oqim turbulent harakatining kvadrat qarshilik sohasi hisoblanadi, bu sohada gidravlik ishqalanish koeffitsienti B.L.Shifrinson tomonidan taklif qilingan formulaga asosan aniqlanadi:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{4R} \right)^{0,25}.$$

$$20 \cdot 4 \cdot R/\Delta = 20 \cdot 4 \cdot 6/0,08 = 6000$$

$$500 \cdot 4 \cdot R/\Delta = 500 \cdot 4 \cdot 6/0,08 = 150000$$

Demak, bizning masalada $20 \cdot 4R/\Delta = 6000 < Re = 14292 < 500 \cdot 4R/\Delta = 150000$ shartni qanoatlantirganligi uchun, oqim turbulent harakatining kvadrat qarshilikkacha bo'lgan sohasi hisoblanadi, bu sohada gidravlik ishqalanish koeffitsienti, yuqorida ta'kidlanganidek Altshul formulasiga asosan hisoblanadi:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{4R} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,08}{4 \cdot 6} + \frac{68}{142928,6} \right)^{0,25} = 0,028.$$

Quvurning $l = 500m$ uzunligida yo'qotilgan naporni Darsi-Veysbax formulasidan aniqlaymiz:

$$h_l = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} = 0,028 \frac{50000}{4 \cdot 6} \frac{66,7^2}{2 \cdot 981} = 132,3sm.$$

Gidravlik nishablik quyidagicha aniqlanadi:

$$J = \frac{h_l}{l} = \frac{132,3}{50000} = 0,00265.$$

10.2.2-TUR

II. Kesimi uchburchak bo'lgan quvurda harorati $t = 20^{\circ}C$ bo'lgan suyuqlik harakat qilmoqda.

Berilgan:

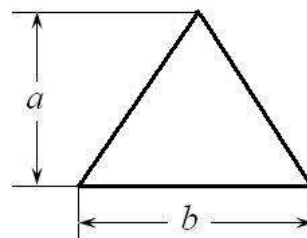
$$a = 25sm,$$

$$b = 35sm,$$

$$Q = 30l/s = 30000sm^3/s,$$

g'adir-budurlikning

$$\text{o'rtacha balandligi } \Delta = 0,5mm.$$



10.2.2-rasm.

Talab qilinadi:

- Quvurdagi suv harakatining tartibini va qarshilik sohasini aniqlang;
- Gidravlik ishqalanish koeffitsienti λ , gidravlik nishablik va quvurning $l = 200m$ uzunligida yo'qotilgan naporni aniqlang.

Hisoblash tartibi.

Quvurdagi suvning harakat tartibini Reynolds soniga asosan aniqlaymiz:

$$Re = \frac{v \cdot 4R}{\nu} = \frac{68,6 \cdot 4 \cdot 5,09}{0,0101} = 138286.$$

Bu yerda v – quvurdagi suvning o'rtacha tezligi

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{30000}{437,5} = 68,6 sm/s.$$

ω – quvurning ko'ndalang kesim yuzasi

$$\omega = \frac{ab}{2} = \frac{25 \cdot 35}{2} = 437,5 sm^2.$$

R – quvurning gidravlik radiusi, ixtiyoriy shakldagi kesim uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{437,5}{86,03} = 5,09sm.$$

χ – quvurning ho'llangan perimetri, uchburchak quvur uchun quyidagicha aniqlanadi:

$$\chi = a + 2c = a + 2\sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} = 25 + 2\sqrt{25^2 + \left(\frac{35}{2}\right)^2} = 86,03sm.$$

Suv harakatining tartibi Reynolds soniga asosan aniqlanadi:

Agar $Re < Re_{kr}$ bo'lsa, oqimning laminar harakati kuzatiladi, bunda bosimli quvurlarda Reynolds sonining kritik qiymati $Re_{kr} = 2320$ ga teng.

Oqimning laminar harakatida gidravlik ishqalanish koeffitsienti Puazeyl tomonidan taklif qilingan formula yordamida aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Agar $Re_{kr} < Re < 4000$ bo'lsa, oqimning laminar harakatidan turbulent harakatiga o'tish sohasi hisoblanadi, bunda gidravlik ishqalanish koeffitsienti 1913 yilda Blazius tomonidan taklif qilingan quyidagi formulaga asosan aniqlanadi:

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

Agar $Re > Re_{kr}$ bo'lsa, oqimning turbulent harakati kuzatiladi. Oqimning turbulent harakati o'z navbatida uchta sohaga bo'linadi.

$4000 < Re < 20 \cdot 4R/\Delta$ bo'lsa, oqim turbulent harakatining silliq quvurlar sohasi hisoblanadi, bu sohada ham gidravlik ishqalanish koeffitsienti Blazius tomonidan taklif qilingan formulaga asosan aniqlanadi:

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

Agar $20 \cdot 4R/\Delta < Re < 500 \cdot 4R/\Delta$ bo'lsa, oqim turbulent harakatining kvadrat qarshilikkacha bo'lgan sohasi hisoblanadi, bu sohada gidravlik ishqalanish koeffitsienti A.D.Altshul tomonidan taklif qilingan formulaga asosan aniqlanadi:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{4R} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}.$$

Agar $Re > 500 \cdot 4R/\Delta$ bo'lsa, oqim turbulent harakatining kvadrat qarshilik sohasi hisoblanadi, bu sohada gidravlik ishqalanish koeffitsienti B.L.Shifrinson tomonidan taklif qilingan formulaga asosan aniqlanadi:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{4R} \right)^{0,25}.$$

$$20 \cdot 4 \cdot R/\Delta = 20 \cdot 4 \cdot 5,09/0,05 = 8144$$

$$500 \cdot 4 \cdot R/\Delta = 500 \cdot 4 \cdot 5,09/0,05 = 203600$$

demak, bizning masalada $20 \cdot 4R/\Delta < Re < 500 \cdot 4R/\Delta$ shartni qanoatlantirganligi uchun, oqim turbulent harakatining kvadrat qarshilikkacha bo'lgan sohasi hisoblanadi, bu sohada gidravlik ishqalanish koeffitsienti:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{4R} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,05}{4 \cdot 5,09} + \frac{68}{138286} \right)^{0,25} = 0,0256.$$

Quvurning $l = 50m$ uzunligida yo'qotilgan naporni Darsi-Veysbax formulasidan aniqlaymiz:

$$h_l = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} = 0,0256 \frac{20000}{4 \cdot 5,09} \frac{68,6^2}{2 \cdot 9,81} = 60,32 \text{ sm}.$$

Gidravlik nishablik quyidagicha aniqlanadi:

$$J = \frac{h_l}{l} = \frac{60,32}{20000} = 0,00302.$$

10.3 Real suyuqliklar uchun

(10.3.1.-TUR)

10.3.1-rasmda ko'rsatilgan tarmoq uchun 10.1.1-mashqning «b» va «v» savollarini gidravlik qarshiliklarni hisobga olgan holda yeching va idishdagi suvning chuqurligi H ni aniqlang, truboprovod foydalanilgan cho'yan quvurlardan tuzilgan, sarf esa qarshiliklarni hisobga olmay topilgan sarfga teng deb qaraladi.

Berilgan:

$$t = 16^{\circ}C$$

$$\Delta = 0,8mm$$

$$H = 1,8m$$

$$a = 0,7m$$

$$l_1 = 10m$$

$$l_2 = 14m$$

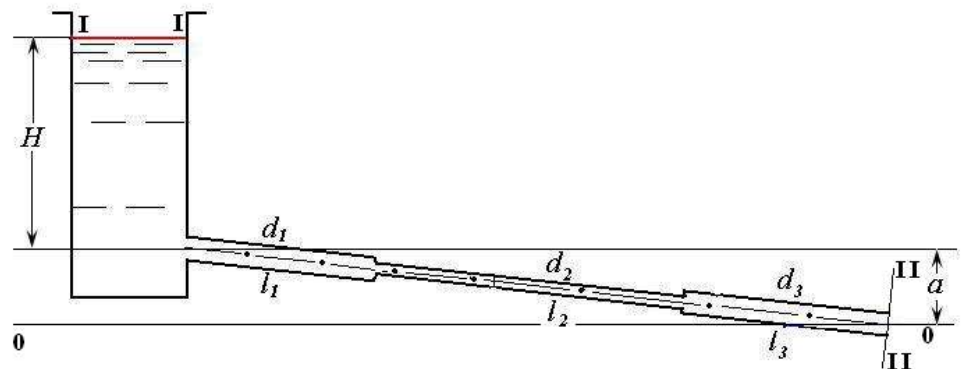
$$l_3 = 8m$$

$$d_1 = 150mm$$

$$d_2 = 100mm$$

$$d_3 = 120mm$$

$$Q = 0,0791m^3/s$$



10.3.1-rasm.

Real holatdagi barqaror harakatlanayotgan suv oqimi uchun Bernulli tenglamasini qo'llanish qoidasiga asosan, berilgan quvurlar sistemasining chiqish sohasidagi quvur og'irlik markazidan o'tuvchi gorizontaal yo'nalishda 0-0 taqqoslash tekisligini o'tkazib, sistemaga kirish va chiqish sohasida oqim harakatiga ko'ndalang tarzda 1-1 va 2-2 kesimlar tanlaymiz (qarang rasm). Tanlangan ikki kesim oralig'ida harakatlanayotgan real suyuqliklar uchun gorizontaal 0-0 taqqoslash tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{f(1-2)}$$

Tenglama hadlarini yozamiz:

1-1 kesim uchun:

$$z_1 = H + a$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$v_1 = 0$$

Bundan

2-2 kesim uchun:

$$z_2 = 0$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$v_1 = v_{II} = v_3$$

$$H + a + \frac{p_{at}}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha v_3^2}{2g} + h_{f(1-2)}$$

yoki

$$H = \frac{\alpha v_3^2}{2g} - a + h_{f(1-2)} = \frac{1 \cdot 5,05^2}{2 \cdot 9,81} - 0,5 + 1,64 = 2,44m.$$

bu yerda $h_{f(1-2)} - 1-1$ va $2-2$ kesimlar oralig'ida yo'qolgan napor

$$h_{f(1-2)} = \sum h_m + \sum h_l = 0,456 + 1,184 = 1,64m.$$

$\sum h_m$ – mahalliy qarshiliklar hisobiga napor yo'qolishi

$$\sum h_m = h_k + h_{k,t} + h_{k,k} = 0,51 + 1,44 + 0,48 = 2,43m.$$

h_k – kirishdagi napor yo'qolishi

$$h_k = \zeta_k \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \frac{4,48^2}{2 \cdot 9,81} = 0,51m.$$

$h_{k,t}$ – keskin torayishda napor yo'qolishi

$$h_{k,t} = \zeta_{k,t} \frac{v_2^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right) \frac{v_2^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right) \frac{v_2^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{0,10^2}{0,15^2}\right) \frac{10,08^2}{2 \cdot 9,81} = 1,44m.$$

$h_{k,k}$ – keskin kengayishda napor yo'qolishi

$$h_{k,k} = \zeta_{k,k} \frac{v_3^2}{2g} = \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} - 1\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = \left(\frac{d_3^2}{d_2^2} - 1\right)^2 \frac{v_3^2}{2g} = \left(\frac{0,12^2}{0,10^2} - 1\right)^2 \frac{7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,48m.$$

Endi quvurlarning uzunligi bo'yicha yo'qolgan naporni aniqlaymiz:

$$\sum h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} = 0,85 + 0,13 + 0,204 = 1,184m.$$

1-quvur uzunligi bo'yicha yo'qolgan napor:

$$h_{l1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} = 0,03 \frac{10}{0,15} \frac{4,48^2}{2 \cdot 9,81} = 2,05m.$$

λ_1 – 1-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_1 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_1} + \frac{68}{Re_1} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,8}{150} + \frac{68}{600000} \right)^{0,25} = 0,03$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$Re = \frac{v_1 d_1}{\nu} = \frac{4,48 \cdot 0,15}{0,0112 \cdot 10^{-4}} = 600000;$$

Demak, suv oqimining harakati turbulent tartibdagi harakat ekan.

2-quvur uzunligi bo'yicha yo'qolgan napor:

$$h_{l2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} = 0,033 \frac{14}{0,10} \frac{10,08^2}{2 \cdot 9,81} = 23,93m.$$

λ_2 –2-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_2 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_2} + \frac{68}{\text{Re}_2} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,8}{100} + \frac{68}{900000} \right)^{0,25} = 0,033$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{Re} = \frac{v_2 d_2}{\nu} = \frac{10,08 \cdot 0,1}{0,0112 \cdot 10^{-4}} = 900000$$

Demak, suv oqimining harakati turbulent tartibdagi harakat ekan.

3-quvur uzunligi bo'yicha yo'qolgan napor:

$$h_{l3} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{v_3^2}{2g} = 0,0308 \frac{5}{0,12} \frac{1,77^2}{2 \cdot 9,81} = 0,204 \text{ m}.$$

λ_3 –3-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

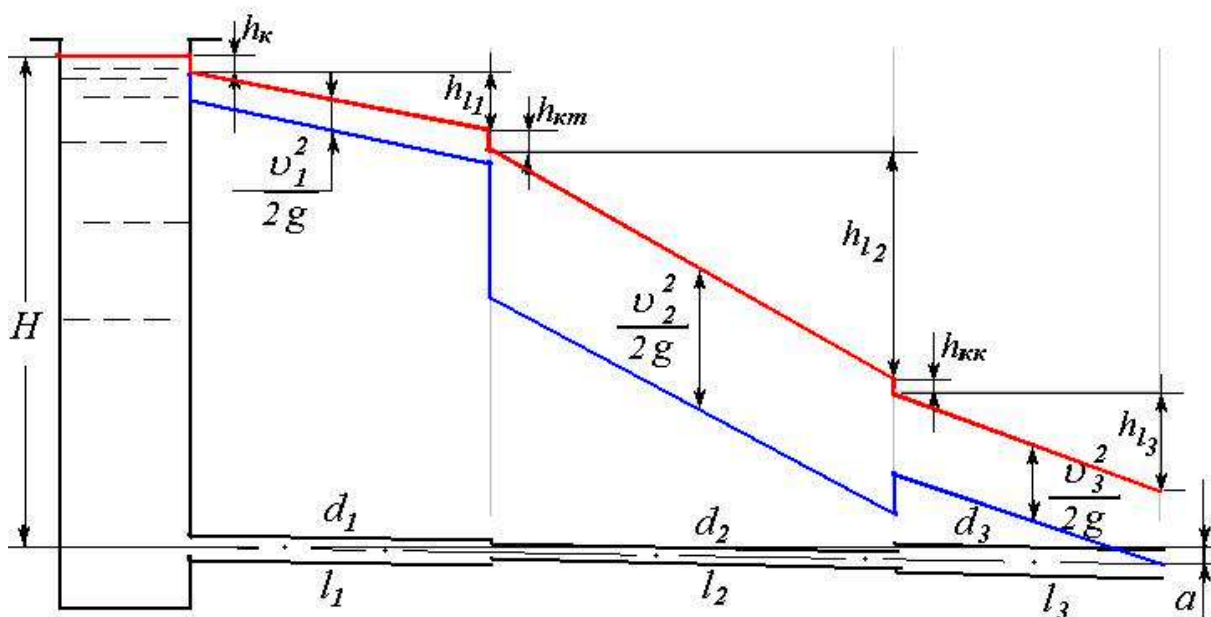
$$\lambda_3 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_3} + \frac{68}{\text{Re}_3} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,7}{120} + \frac{68}{210297} \right)^{0,25} = 0,0308.$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{Re} = \frac{v_3 d_3}{\nu} = \frac{1,77 \cdot 0,12}{0,0101} = 210297.$$

Demak, suv oqimining harakati turbulent tartibdagi harakat ekan.

Aniqlangan napor yo'qolishlari asosida to'la napor chizig'ini va tezlik naporlari asosida pezometrik napor chizig'ini quramiz.



10.3.2-rasm.

To'liq napor chizig'ini sistemaning tugash qismidan boshlab qura boshlaymiz:

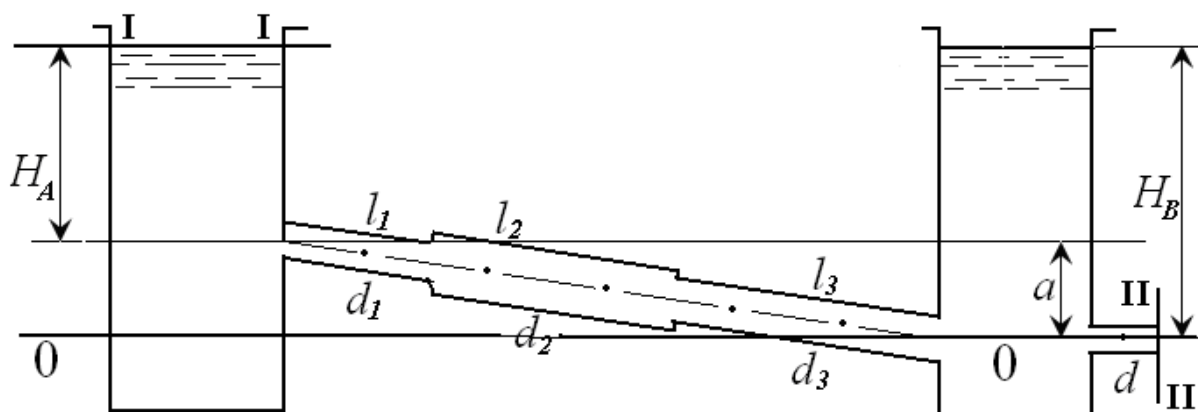
- Dastlab, 3-quvurdan chiqishdagi napor yo‘qolishi vertikal holatda tanlangan masshtabda qo‘yiladi;
- Keyingi bosqichda, 3-quvur boshlanishiga shu uchastkadagi (3-chiqish) uzunlik bo‘yicha yo‘qolish kattaligi belgilanib, u tugagan nuqtaga, chiqishdagi napor yo‘qolishi balandligi nuqtasidan chiziq o‘tkaziladi;
- Chiziqning tugash nuqtasiga shu (3-quvur boshlanishi) kesimdagi mahalliy yo‘qolish kattaligi vertikal yo‘nalishda qo‘yiladi;
- Keyingi bosqichda, 2-quvur boshlanishiga shu uchastkadagi (2-3) uzunlik bo‘yicha yo‘qolish kattaligi belgilanib, u tugagan nuqtaga, 3-uchastkadagi napor yo‘qolishi balandligi nuqtasidan chiziq o‘tkaziladi;
- Chiziqning tugash nuqtasiga shu (2-quvur boshlanishi) kesimdagi mahalliy yo‘qolish kattaligi vertikal yo‘nalishda qo‘yiladi;
- Keyingi bosqichda, 2-quvur boshlanishiga shu uchastkadagi (1-2) uzunlik bo‘yicha yo‘qolish kattaligi belgilanib, u tugagan nuqtaga, 2-uchastkadagi napor yo‘qolishi balandligi nuqtasidan chiziq o‘tkaziladi;
- Chiziqning tugash nuqtasiga shu (1-quvur boshlanishi – quvurlar sistemasiga kirish) kesimdagi mahalliy yo‘qolish kattaligi vertikal yo‘nalishda qo‘yiladi;
- Olingan H napor kattaligi idishdagi suyuqlikning haqiqiy napori deyiladi;
- Peometrik napor ($P-P$) chizig‘i to‘liq napor chizig‘idan tezlik naporlariga teng miqdorda pastda joylashib, unga parallel tarzda o‘tkaziladi.

(10.1.2.-TUR)

10.3.3-rasmda ko‘rsatilgan tarmoq uchun 10.1.2-mashqning «b» va «v» savollarini gidravlik qarshiliklarni hisobga olgan holda eching, truboprovod foydalanilgan po‘lat quvurlardan tuzilgan, sarf esa qarshiliklarni hisobga olmay topilgan sarfga teng deb qaraladi.

Berilgan:

$$\begin{aligned}
 H_B &= 1,3m, & a &= 0,5m, & l_1 &= 2m, & l_2 &= 4m \\
 l_3 &= 5m, & d_1 &= 100mm, & d_2 &= 150mm, & d_3 &= 120mm \\
 d &= 70mm, & Q &= 0,02m^3/s
 \end{aligned}$$



10.3.3-rasm.

Hisoblash tartibi:

Tanlangan ikki kesim oralig'idagi real suyuqliklar oqimi uchun 0-0 taqqoslash tekisligiga nisbatan bu kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{f(1-2)}$$

1-1 kesim uchun:

$$z_1 = H_A + a$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$v_1 = 0$$

2-2 kesim uchun:

$$z_2 = 0$$

$$p_2 = p_{at}$$

$$v_2 = v_{II}$$

Bundan

$$H_A + a + \frac{p_{at}}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha v_{II}^2}{2g} + h_{f(1-2)}$$

yoki

$$H_B = \frac{\alpha v_{II}^2}{2g} - a + h_{f(1-2)} = \frac{1 \cdot 5,05^2}{2 \cdot 9,81} - 0,5 + 1,64 = 2,44m.$$

bu yerda $h_{f(1-2)}$ – 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida yo'qolgan napor

$$h_{f(1-2)} = \sum h_m + \sum h_l = 0,456 + 1,184 = 1,64m.$$

$\sum h_m$ – mahalliy qarshiliklar hisobiga napor yo'qolishi

$$\sum h_m = h_k + h_{k.k} + h_{k.t} + h_{ch} = 0,166 + 0,1 + 0,03 + 0,16 = 0,456m.$$

h_k – kirishdagi napor yo'qolishi

$$h_k = \zeta_k \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} = 0,166m$$

$h_{k.k}$ – keskin kengayishda napor yo'qolishi

$$h_{k.k} = \zeta_{k.k} \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{d_2^2}{d_1^2} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{0,15^2}{0,1^2} - 1 \right)^2 \frac{1,13^2}{2 \cdot 9,81} = 0,1m$$

$h_{k.t}$ – keskin torayishda napor yo‘qolishi

$$h_{k.t} = \zeta_{k.t} \frac{v_3^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_3}{\omega_2} \right) \frac{v_3^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{d_3^2}{d_2^2} \right) \frac{v_3^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{0,12^2}{0,15^2} \right) \frac{1,77^2}{2 \cdot 9,81} = 0,03m$$

h_{ch} – chiqishda napor yo‘qolishi

$$h_{ch} = \zeta_{ch} \frac{v_3^2}{2g} = 1 \frac{1,77^2}{2 \cdot 9,81} = 0,16m .$$

Endi quvurlarning uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan naporni aniqlaymiz:

$$\sum h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} = 0,85 + 0,13 + 0,204 = 1,184m .$$

1-quvur uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan napor:

$$h_{l1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} = 0,032 \frac{8}{0,1} \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81} = 0,85m .$$

λ_1 – 1-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_1 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_1} + \frac{68}{Re_1} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,7}{100} + \frac{68}{252475} \right)^{0,25} = 0,032$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$Re = \frac{v_1 d_1}{\nu} = \frac{2,55 \cdot 0,1}{0,0101 \cdot 10^{-4}} = 252475$$

2-quvur uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan napor:

$$h_{l2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} = 0,029 \frac{10}{0,15} \frac{1,13^2}{2 \cdot 9,81} = 0,13m .$$

λ_2 – 2-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_2 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_2} + \frac{68}{Re_2} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,7}{150} + \frac{68}{167821} \right)^{0,25} = 0,029$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$Re = \frac{v_2 d_2}{\nu} = \frac{1,13 \cdot 0,15}{0,0101 \cdot 10^{-4}} = 167821 .$$

3-quvur uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan napor:

$$h_{l3} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{v_3^2}{2g} = 0,0308 \frac{5}{0,12} \frac{1,77^2}{2 \cdot 9,81} = 0,204m .$$

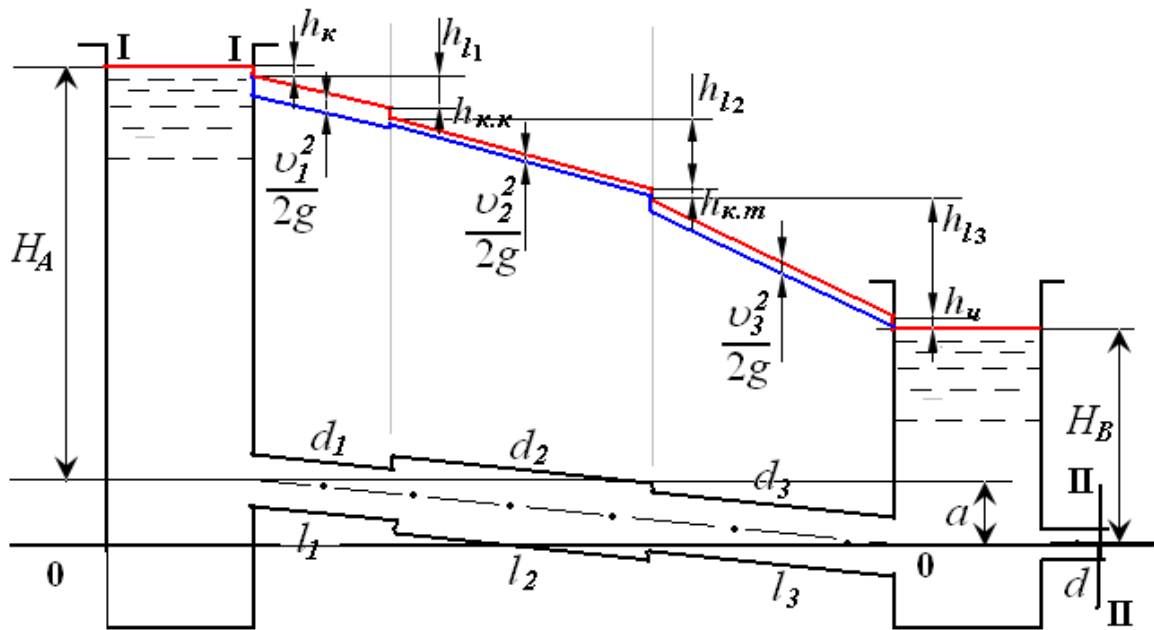
λ_3 – 3-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_3 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_3} + \frac{68}{\text{Re}_3} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,7}{120} + \frac{68}{210297} \right)^{0,25} = 0,0308$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{Re} = \frac{v_3 d_3}{\nu} = \frac{1,77 \cdot 0,12}{0,0101 \cdot 10^{-4}} = 210297.$$

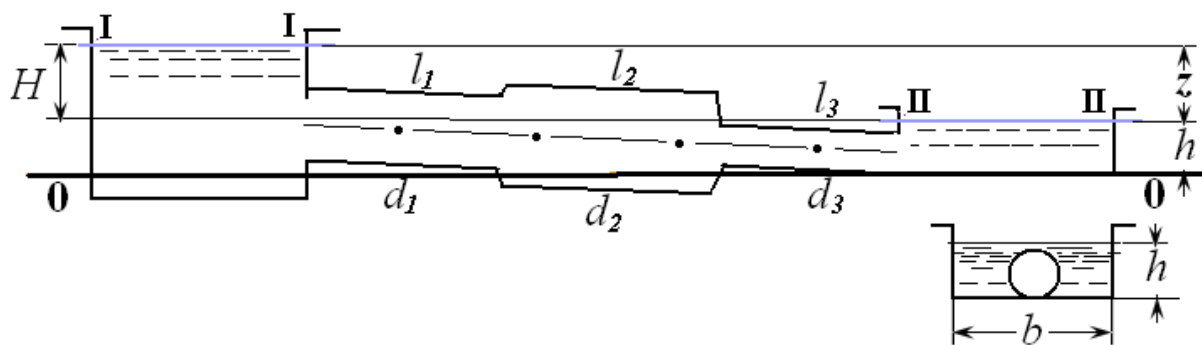
Aniqlangan napor yo‘qolishlari asosida to‘la napor chizig‘ini va tezlik naporlari asosida pezometrik napor chizig‘ini quramiz.



10.3.4-rasm.

(10.1.3.-TUR)

10.3.5-rasmda ko‘rsatilgan tarmoq uchun 10.1.3-mashqning «b» va «v» savollarini gidravlik qarshiliklarni hisobga olgan holda eching va idishdagi suvning chuqurligi H ni aniqlang, truboprovod foydalanilgan po‘lat quvurlardan tuzilgan, sarf esa qarshiliklarni hisobga olmay topilgan sarfga teng deb qaraladi.



10.3.5-rasm.

Berilgan:

$$\begin{aligned}
 h &= 1,2 \text{ m}; & d_3 &= 0,36 \text{ m}; & l_3 &= 10 \text{ m}; & H &= 0,4 \text{ m}; \\
 z &= 0,4 \text{ m}; & b &= 0,8 \text{ m}; & d_1 &= 500 \text{ mm}; \\
 l_1 &= 15 \text{ m}; & d_2 &= 700 \text{ mm}; & l_2 &= 12 \text{ m}; \\
 d_3 &= 300 \text{ mm}; & Q &= 0,81 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Hisoblash tartibi:

Tanlangan ikki kesim oralig'idagi real suyuqliklar oqimi uchun 0-0 taqqoslash tekisligiga nisbatan bu kesimlar uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{f(1-2)}$$

1-1 kesim uchun:

$$z_1 = H + h$$

$$p_1 = p_{at}$$

$$v_1 = 0$$

2-2 kesim uchun:

$$z_2 = h$$

$$p_2 = p_{at}$$

$$v_2 = v_{II}$$

Bundan

$$H + h + \frac{p_{at}}{\gamma} + 0 = h + \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha v_{II}^2}{2g} + h_{f(1-2)}$$

yoki

$$H = \frac{\alpha v_{II}^2}{2g} + h_{f(1-2)} = \frac{1 \cdot 2,8^2}{2 \cdot 9,81} + 16,34 = 0,4 + 16,34 = 16,74 \text{ m}$$

bu yerda $h_{f(1-2)}$ – 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida yo'qolgan napor

$$h_{f(1-2)} = \sum h_m + \sum h_l = 10,25 + 6,09 = 16,34 \text{ m}.$$

$\sum h_m$ – mahalliy qarshiliklar hisobiga napor yo'qolishi

$$\sum h_m = h_k + h_{k.k} + h_{k.t} + h_{ch} = 0,43 + 0,2 + 2,8 + 6,82 = 10,25 \text{ m}.$$

h_k – kirishdagi napor yo‘qolishi

$$h_k = \zeta_k \frac{v_1^2}{2g} = 0,5 \frac{4,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,5 \cdot 0,86 = 0,43m$$

$h_{k.k}$ – keskin kengayishda napor yo‘qolishi

$$h_{k.k} = \zeta_{k.k} \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{d_2^2}{d_1^2} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{0,7^2}{0,5^2} - 1 \right)^2 \frac{2,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,92 \cdot 0,22 = 0,2m$$

$h_{k.t}$ – keskin torayishda napor yo‘qolishi

$$h_{k.t} = \zeta_{k.t} \frac{v_3^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_3}{\omega_2} \right) \frac{v_3^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{d_3^2}{d_2^2} \right) \frac{v_3^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{0,3^2}{0,7^2} \right) \frac{11,57^2}{2 \cdot 9,81} = 0,41 \cdot 6,82 = 2,8m$$

h_{ch} – chiqishda napor yo‘qolishi

$$h_{ch} = \zeta_{ch} \frac{v_3^2}{2g} = 1 \frac{11,57^2}{2 \cdot 9,81} = 6,82m .$$

Endi quvurlarning uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan naporni aniqlaymiz:

$$\sum h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} = 0,55 + 0,08 + 5,46 = 6,09m .$$

1-quvur uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan napor:

$$h_{l1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} = 0,0213 \frac{15}{0,5} \frac{4,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,55m .$$

λ_1 – 1-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_1 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_1} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,7}{500} \right)^{0,25} = 0,0213$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$Re = \frac{v_1 d_1}{\nu} = \frac{4,1 \cdot 0,5}{0,0101 \cdot 10^{-4}} = 2029703$$

2-quvur uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan napor:

$$h_{l2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} = 0,02 \frac{12}{0,7} \frac{2,1^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{1,0584}{13,734} = 0,08m .$$

λ_2 – 2-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_2 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_2} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,7}{700} \right)^{0,25} = 0,02$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$Re = \frac{v_2 d_2}{\nu} = \frac{2,1 \cdot 0,7}{0,0101 \cdot 10^{-4}} = 1455446$$

3-quvur uzunligi bo‘yicha yo‘qolgan napor:

$$h_{l3} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \frac{v_3^2}{2g} = 0,024 \frac{10}{0,3} \frac{11,57^2}{2 \cdot 9,81} = 5,46 \text{ m}.$$

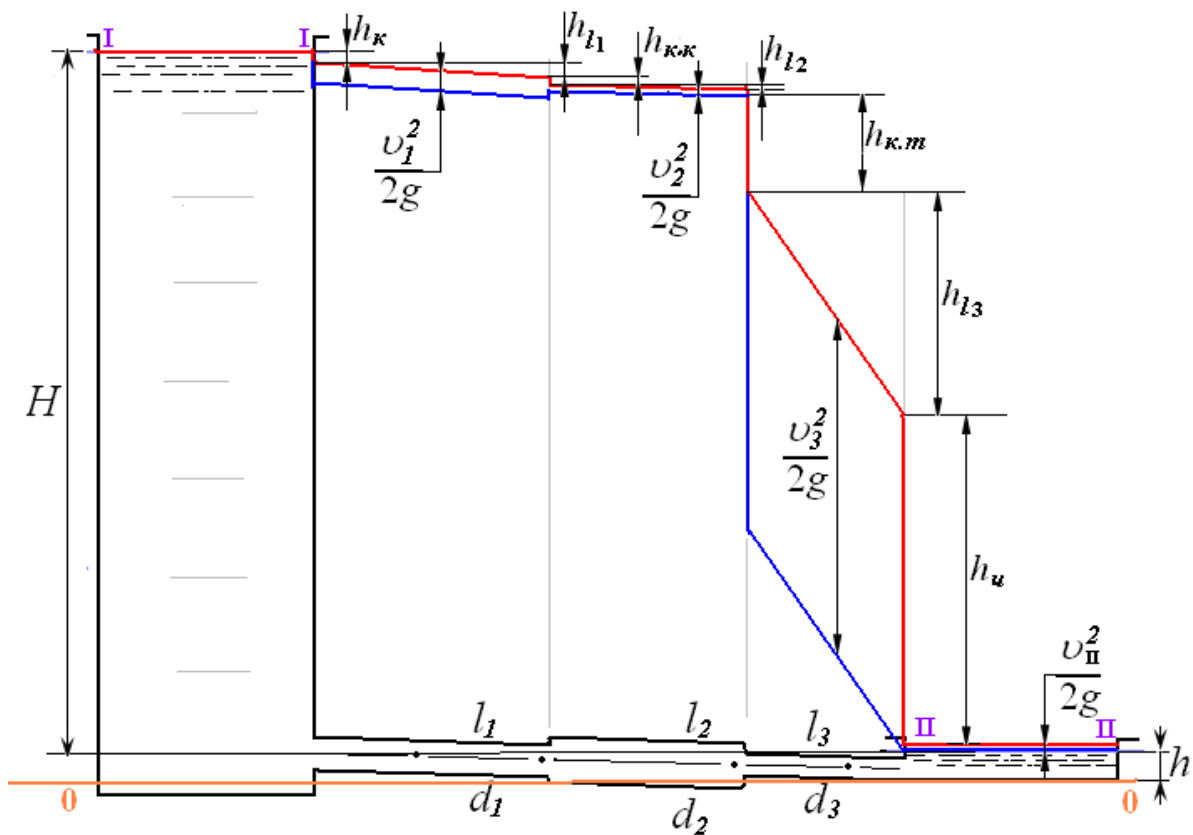
λ_3 – 3-quvurdagi gidravlik ishqalanish koeffitsienti, A.D.Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda_3 = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_3} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,7}{300} \right)^{0,25} = 0,024$$

Reynolds soni quyidagicha aniqlanadi:

$$\text{Re} = \frac{v_3 d_3}{\nu} = \frac{11,57 \cdot 0,3}{0,0101 \cdot 10^{-4}} = 3436633.$$

Aniqlangan napor yo‘qolishlari asosida to‘la napor chizig‘ini va tezlik naporlari asosida pezometrik napor chizig‘ini quramiz.



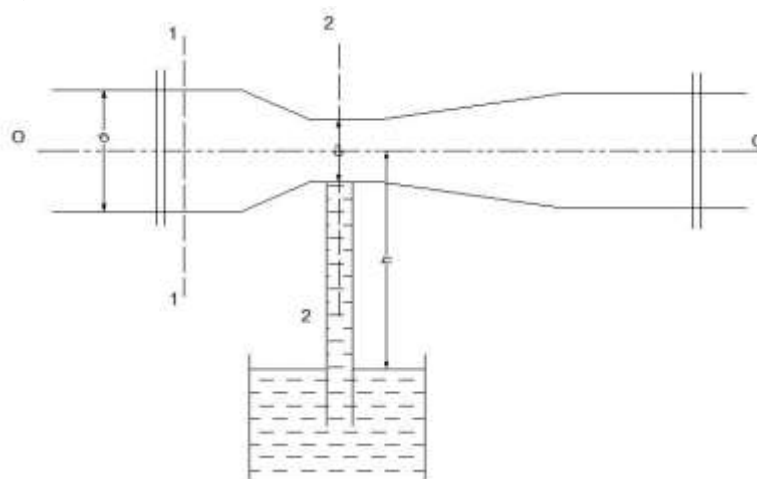
10.3.6-rasm

“G I D R A V L I K A” FANINING GIDRODINAMIKA BO‘LIMI DOIR MASALAR

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, ho‘llangan perimetr) aniqlang: $h_1 = 1,0 \text{ m}$; $b_1 = 1,5 \text{ m}$; $h_2 = 1,2 \text{ m}$; $b_2 = 1,8 \text{ m}$, $V_2 = 0,5 \text{ m/s}$ 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?

Amaliy mashg‘ulotlarni bajarishga doir ko‘rsatma:

Masala. Struyali nasos yordamida suv $h = 0,5 \text{ m}$ chuqurlikdan ko‘tarilmoqda. Agar quvur diametri $d = 100 \text{ mm}$, 1-1 kesimdagi bosim $P_M = 40 \text{ kPa}$, suv tezligi $v_1 = 1,12 \text{ m/s}$ bo‘lsa, kameradagi quvur diametrini d_2 aniqlang. Suv ideal deb qaralsin. (11.1-rasm).



11.1-rasm.

Yeshimi: 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:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V^2}} = 0,05 \text{ m}$$

MASALALAR

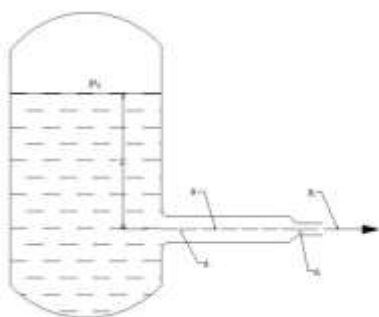
1. Rezervuardan suv diametri $d = 30 \text{ mm}$ bo'lgan quvur orqali atmosferaga oqib chiqmoqda, agar rezervuardagi manometrik bosim $P_M = 0,2$ atmosfera bo'lib, dam (napor)i $H = 1,5$ bo'lsa, quvurdagi suv sarfini aniqlang (11.2-rasm).

2. Suyuqlik ketma-ket ulangan har xil diametrli quvurlar orqali atmosferaga chiqmoqda. Agar ikkinchi quvurdagi tezlik $\vartheta_2 = 0,8 \text{ m/s}$ bo'lsa, birinchi quvurdagi tezlik $\vartheta_1 = 2 \text{ m/s}$ bo'lishi uchun, birinchi quvurdagi bosim qanday bo'lishi kerak (11.3-rasm).

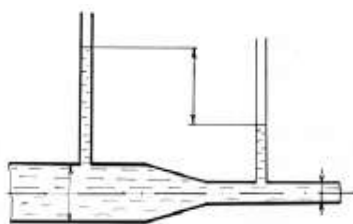
3. Quvurdagi suv sarfini aniqlash uchun Venturi naychasidan foydalaniladi.

Agar quvurga o'rnatilgan pezometrlar farqi $h = 16 \text{ sm}$ bo'lib, quvur diametri $D = 20 \text{ sm}$, naychani diametri $d = 14 \text{ sm}$ bo'lganda quvurdan o'tayotgan sarfni aniqlang (11.4-rasm).

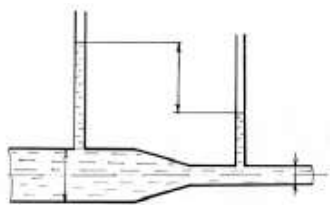
4. Agar naychani diametri $d = 5 \text{ sm}$, quvurning diametri $D = 100 \text{ mm}$ va quvurdagi bosim $P_1 = 0,4 \text{ at}$ bo'lsa, naychaga ulangan quvurda suv qaysi balandlikka ko'tariladi? (11.5-rasm)



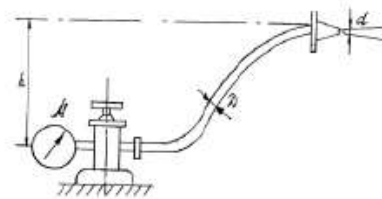
11.2-rasm.



11.3-rasm.



11.4-rasm.



11.5-rasm

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 $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ bo'lganda suyuqlikning harakat rejimini va qaysi haroratda turbulent rejimga o'tishini aniqlang.

Yechimi: Suyuqlikning harakat rejimi Reynolds soni orqali ifodalanadi;

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

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 20}{3.14 \cdot 2.4^2} = 4.42 \text{ sm/s}$$

$t = 20^\circ\text{C}$ da moyning (IS-30) kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti

$$\nu = 150 \text{ mm}^2/\text{s} = 1.5 \text{ sm}^2/\text{s}$$

Reynolds soni:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{4.42 \cdot 2.4 \cdot 10^2}{1.5} = 700;$$

$$Re_{kr} = 2000:$$

$Re < Re_{kr}$ 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 t° ning bog'liqlik jadvalidan industrial moy uchun (IS-30) $\nu = 53 \text{ mm}^2/\text{s}$ 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.

MASALALAR:

1. Uzunligi $l=4 \text{ m}$ bo'lgan quvurdan harorati 10°C ($\nu = 0,4 \text{ sm}^2/\text{s}$) bo'lgan neft oqib o'tmoqda. Kesimlar orasidagi bosimlar farqi $\Delta P = 5 \text{ mPa}$ va neft sarfi $Q = 0,5 \text{ l/s}$ bo'lganda suyuqlikning harakat rejimini aniqlang.

2. Diametri $d = 50 \text{ mm}$ li quvur orqali sarfi $Q = 0,5 \text{ l/s}$ bo'lgan benzin oqib kelmoqda. Agar benzin harorati 6°C dan 40°C gacha o'zgarsa suyuqlik harakat rejimi qanday o'zgaradi?

3. $d = 100 \text{ mm}$ bo'lgan quvurda suyuqlik laminar rejimda harakat qilmoqda. Agar quvur o'qidagi tezlik $u_{max} = 20 \text{ sm/s}$ bo'lsa, tezlik taqsimotining grafigini chizing.

4. Laboratoriyada diametri $d = 25 \text{ mm}$ bo'lgan quvurda tajribalar o'tkazib quyidagi qiymatlar o'lchandi: a) suvning harorati $t = 10^\circ\text{C}$, tezligi $V = 20 \text{ sm/s}$; b) benzin harorati 20°C , tezligi $V = 25 \text{ sm/s}$; v) neft harorati 18°C , tezligi $V = 18 \text{ sm/s}$. Suyuqliklarning harakat rejimlarini va sarfini aniqlang.

5. Yuqoridagi tajribalarning kesimi to'g'ri to'rtburchak shaklidagi ($a = 6 \text{ sm}$, $b = 4 \text{ sm}$) quvurda o'tkazilsa, suyuqliklarning harakat rejimlari qanday o'zgaradi?

Gidrodinamika mavzusiga doir masalalarni yechish uchun ko'rsatma

Masala: Gidrotizim uchlariga o'rnatilgan manometrlarning ko'rsatishlari $P_1 = 4 \text{ kPa}$ va $P_2 = 0,5 \text{ kPa}$ bo'lib, gidrotizim uzunligi $l = 500 \text{ sm}$ va diametri $d = 20 \text{ mm}$

bo'lsa, gidrotizimdagi harorati $t = 50^{\circ}\text{C}$ bo'lgan motor moyining sarfini aniqlang ($\rho = 950 \text{ kg/m}^3$)

Yechimi: Jadvaldan harorati $t = 50^{\circ}\text{C}$ bo'lgan motor moyining kinematik yopishqoqlik koeffitsiyentini $\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$ deb olamiz.

Suyuqlik sarfini u holda quyidagicha aniqlaymiz:

Suyuqlik harakat rejimi laminar ekanligini inobatga olib, Puazeyl qonuni asosida bosimning kamayishini aniqlaymiz:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{128 \nu \ell \cdot Q}{\pi d^4}$$

$$Q = \frac{\Delta P \pi d^4}{128 \nu \rho \ell} = \frac{(3,5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 3,14 \cdot (0,020 \text{ m})^4)}{128 \cdot 0,3 \cdot 10^4 \cdot 890 \cdot 50} = 0,49 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$$

Masala: Uzunligi $l = 1,5 \text{ km}$ va diametri $d = 250 \text{ mm}$ li quvurda benzin oqib o'tmoqda. Benzinning harorati $t = 20^{\circ}\text{C}$, sarfi $Q = 0,026 \text{ m}^3/\text{s}$. Quvurda yo'qolgan dam (napor)ni aniqlang. Agar quvurning diametrini 20% kamaytirsak yo'qolgan dam (napor) miqdori qanchaga o'zgaradi? Quvurning g'adir-budurligi $\Delta = 0,2 \text{ mm}$.

Yechimi: I. Quvurdagi oqim tezligi:

$$g = \frac{4Q}{\pi d^2} = 0,53 \text{ m/s}$$

Suyuqlikning harakat rejimini aniqlaymiz: jadvaldan $t = 20^{\circ}\text{C}$ haroratdagi benzinning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti $\nu = 0,75 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Reynolds soni:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu} = 177 \cdot 10^3.$$

demak, harakat rejimi turbulent.

U holda gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,02.$$

Bosimning yo'qolishi:
$$\Delta P = \frac{\lambda \cdot \ell}{d} \cdot \frac{\rho V^2}{2} = 11,8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

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.

MASALALAR:

1. Uzunligi $l=5$ m, diametri $d=20$ mm bo‘lgan po‘lat quvurdan harorati $t=20^{\circ}\text{C}$ bo‘lgan suv oqib chiqmoqda. Agar quvurdan o‘tayotgan suv sarfi $Q=20$ l/s bo‘lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini aniqlang.

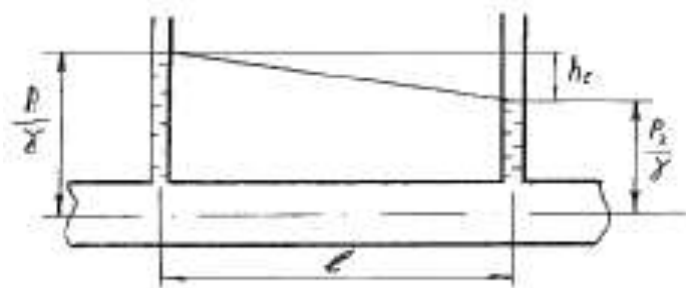
2. Yuqoridagi masalada suv o‘rniga neft oqib o‘tayotgan bo‘lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti qanday bo‘ladi?

3. 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-budirliги $\Delta=0,1$ mm.

4. Sug‘orish 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.

5. Laboratoriya sharoitida po‘lat quvurning gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash uchun, yangi po‘lat quvurda tajribalar o‘tkazadilar. Buning uchun uzunligi $l=6$ m, diametri $d=200$ mm bo‘lgan quvurga pezometr ulanib, ma‘lum miqdor sarfni o‘tkazadilar. Agar suv sarfi $Q=10$ l/s bo‘lib, pezometrlardagi suyuqliklar sathining farqi $\Delta h=200$ mm bo‘lganda gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini aniqlang.

Agar po‘lat quvurni a) cho‘yan; b) polietilen; v) asbestotsement quvurlar bilan almashtirsak pezometrda suyuqliklar sathining farqi o‘zgaradimi? (11.6-rasm).



(11.6-rasm).

Masala

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 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

$$H_1 = \frac{Q^2}{(\mu \omega_1)^2 2g} = 2,13 \text{ m};$$

$$H_2 = \frac{Q^2}{(\mu \omega_2)^2 2g} = 0,76 \text{ m};$$

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 ko'effitsiyentlari quyidagicha bo'lsa: $\varepsilon = 0,62$; $\varphi = 0,97$ $\xi = 0,06$.

2. Sisternadan diametri $d = 100$ mm bo'lgan teshikdan atmosferaga oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang. Agar sisterna diametri $D = 250$ mm, sisternaga o'rnatilgan manometrning ko'rsatishi $R_m = 0,2$ MPa va manometrning o'rnatish balandligi $h = 1,3$ m bo'lsa.

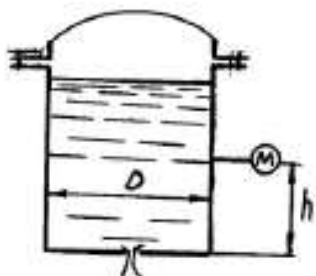
Agar teshikka xuddi shu diametrdagi naycha ulansa suyuqlik sarfi qanday o'zgaradi? Teshikning qarshilik ko'effitsiyenti $\xi = 0,04$ (6.1-rasm).

3. To'g'on devoriga o'rnatilgan silindrik naycha orqali $Q = 2,5$ m³/s sarfini pastki b'efga o'tkazish kerak. B'eflardagi suyuqliklar sathining farqi $H = 10$ m, naychaning sarf ko'effitsiyenti $\mu = 0,82$. Naycha diametrini aniqlang

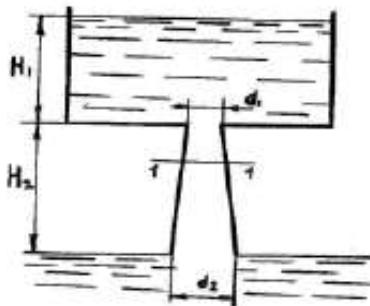
4. Suv yuqori rezervuardan pastki rezervuarga diametrlari $d_1 = 150$ mm va $d_2 = 200$ mm li diffuzor orqali oqib o'tmoqda. Teshik va diffuzorning qarshilik koeffitsiyentlari: $\xi_1 = 0,06$; $\xi_2 = 0,03$.

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 (11.7- 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 b'efdagi suv dami (napori) $H = 6,0$ m. Siqilish va tezlik koeffitsiyentlari: $\varepsilon = 0,67$; $\varphi = 0,97$ (11.8- rasm)



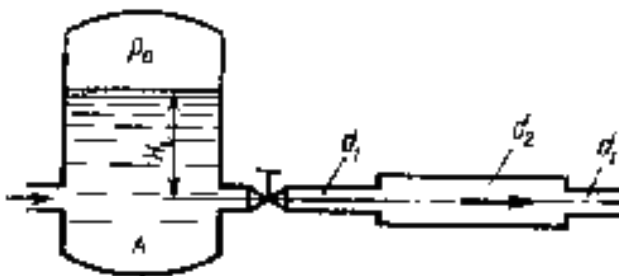
(11.7-rasm).



(11.8 - rasm).

Masalalarni yechish uchun ko'rsatma

Masala. Berilgan quvurlar tizimi orqali, rezervuardan atmosferaga oqib chiqayotgan suv sarfining miqdorini aniqlash lozim bo'lsin (11.9-rasm).



(11.9-rasm).

Quvurlarning diametrlari, uzunligi va materiali ($\Delta; \lambda$) ma'lum bo'lib, quyidagi qiymatlarga ega bo'lsin:

$d_1 = 150 \text{ mm}; d_2 = 200 \text{ mm}; d_3 = 250 \text{ mm}; l_1 = 20 \text{ m } l_2 = l_3 = 15 \text{ m};$
 $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,02 \quad H = 3,0 \text{ m};$
 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:

$$z_1 = H; P_1 = P_a; V_1 = 0; \alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

$$z_2 = 0; P_2 = P_a; V_2 = ?$$

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:

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

Endi quvurlar tizimida yo`qolgan dam – h_f miqdorini aniqlaymiz:

Ma'lumki,

$$h_f = \sum h_e + \sum h_m$$

Quvur uzunligi bo`ylab yo`qolgan dam Darsi-Veysbax formulasi bo`yicha:

$$\sum h_e = h_1 + h_2 + h_3 = \frac{\lambda_1}{d_1} \frac{V_1^2}{2g} + \frac{\lambda_2}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} + \frac{\lambda_3}{d_3} \frac{V_3^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasidan

$$V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = V_3 \omega_3$$

$$V_1 = \frac{\omega_3}{\omega_1} V_3; V_2 = \frac{\omega_3}{\omega_2} V_3 \text{ ekanligidan foydalanib, hamda } V_3 = V_2$$

$$\sum h_e = \left[\frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \right] \frac{V_2^2}{2g} \quad (3)$$

yoki

$$\sum h_1 = \xi_1 \frac{V_2^2}{2g}$$

Mahalliy qarshiliklarda damning yo‘qolishi ko‘rilayotgan misolda, quyidagi joylarda sodir bo‘ladi: quvurning kirish qismida – (ξ_1); keskin kengayishda – (ξ_2); keskin torayishda – (ξ_3); berkitgichda – (ξ_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

$$\sum h_M = \xi_1 \frac{V_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{V_2^2}{2g} + \xi_3 \frac{V_3^2}{2g} + \xi_4 \frac{V_4^2}{2g} \quad (4)$$

Yoki

$$\sum_1 h_M = \xi_M \frac{V_2^2}{2g}$$

Jadvaldan mahalliy qarshilik qiymatlarini olib, ξ_M ni hisoblaymiz. (3) va (4) tenglamalarini (2) qo‘yib tizimda yo‘qolgan dam uchun quyidagi ifodani olamiz

$$h_f = \xi_M \frac{V_2^2}{2g} + \xi_1 \frac{V_2^2}{2g} = (\xi_M + \xi_1) \frac{V_2^2}{2g}$$

Yoki

$$h_f = \xi_S \frac{V_2^2}{2g} \quad (5)$$

bu yerda: ξ_S – tizimning qarshilik koeffitsiyenti.

(5) ifodani (2) ga qo‘yib

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \xi_S \frac{V_2^2}{2g}$$

bu yerdan

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1+\xi_S}} \sqrt{2gH}$$

Yoki

$$V_2 = \varphi \sqrt{2gH};$$

bu yerda φ – tezlik koeffitsiyenti.

U holda quvurlar tizimi orqali oqib chiqayotgan sarf

$$Q = \mu \omega_3 \sqrt{2gH} = 0,17 \cdot \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

bu yerda μ – sarf koeffitsiyenti.

MASALALAR

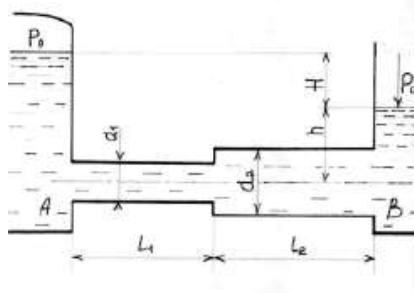
1. Suv bir rezervuardan ikkinchisiga ketma-ket ulangan ikkita quvurlar orqali uzatiladi. Quvurlarning diametri va uzunligi mos ravishda $d_1 = 150$ mm; $l_1 = 25$ m; $d_2 = 200$ mm; $l_2 = 35$ m; gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,03$. Agar $H_1 = 3,0$ m; $H_2 = 10$ m; $P_M = 20$ kPa bo'lsa, quvurdagi suv sarfi – Q ni aniqlang. Pezometrik va dam (napor) chiziqlarini chizing (11.10-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 (11.11-rasm).

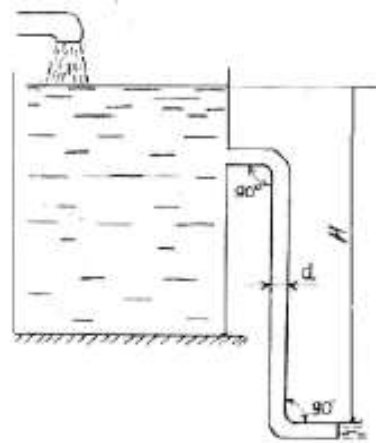
3. Magistral kanaldan novga harorati $t = 20^\circ\text{C}$ suv po'lat sifon orqali uzatiladi. Sifonning diametri $D = 30$ mm: uzunligi m , sarfi $Q = 0,5$ l/s, $h = 4,0$ m bo'lsa, kanal va novdagi suvlar sathining farqini aniqlang (11.12-rasm).

4. Markazdan qochma nasos harorati $t = 20^\circ\text{C}$ suvni diametri $d = 100$ mm va uzunligi m li po'lat quvur orqali $N = 30$ m balandlikka uzatmoqda. Agar x - x kesimdagi bosim $P_x = 0,2$ mPa bo'lsa quvurdagi suv sarfini aniqlang (11.13-rasm).

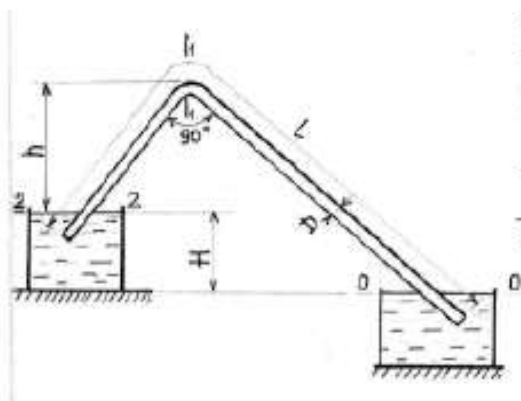
5. Suv A-rezervuardan B-rezervuarga diametri $d = 80$ mm va uzunligi $l = 10$ m quvur orqali uzatiladi. B-rezervuardan suv naycha orqali (sarf koeffitsiyenti $\mu = 0,82$) atmosferaga oqib chiqmoqda. Agar B-rezervuardagi suyuqlik sathi $h = 2,0$ m bo'lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti $\lambda = 0,03$; 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 (11.14-rasm).



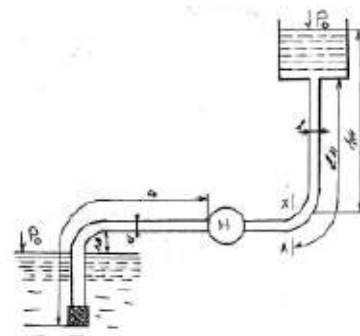
11.10-rasm.



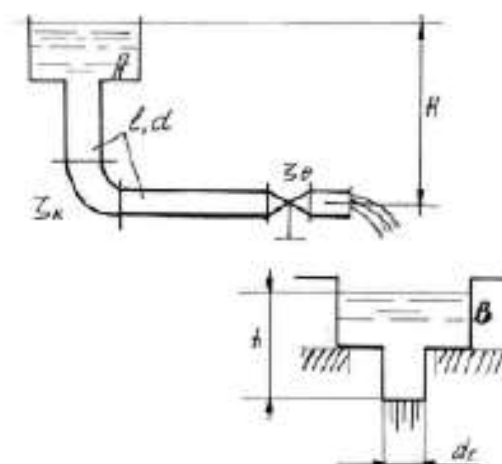
11.11-rasm.



11.12-rasm.



11.13-rasm.



11.14-rasm.

GIDRODINAMIKA BO'LIMIGA DOIR LABORATORIYA ISHLARI

1- LABORATORIYA ISHI

1 D.BERNULLI TENGLAMASINI LABORATORIYA SHAROITIDA TEKSHIRISH

1.1. Sinov savollari.

1. D. Bernulli tenglamasini ideal va real suyuqliklar uchun yozing. Ularning bir - biridan farqini tushuntiring.
2. Koriolis koeffitsientining (α) fizik ma'nosini tushuntiring.
3. Solishtirma to'la energiya deb nimaga aytamiz?
4. D. Bernulli tenglamasida qatnashgan hadlarni sxemada ko'rsating.

1.2 D. Bernulli tenglamasi

Bernulli tenglamasi energiyaning saqlanish qonuniga asoslangan. Oqimning ikki kesimi uchun Bernulli tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f$$

bu yerda:

z_1 va z_2

- solishtirma xolat energiyasi
(geometrik balandlik), mos ravishda I-I va II-II kesimlar uchun;

$\frac{p_1}{\gamma}$, $\frac{p_2}{\gamma}$

- solishtirma bosim energiyasi
(pezometrik balandlik), mos ravishda I-I va II-II kesimlar uchun;

$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right)$, $\left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right)$

- solishtirma potentsial energiya
(pezometrik dam), mos ravishda I-I va II-II kesimlar uchun;

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}, \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$

- solishtirma kinetik energiya (tezlik

dami), mos ravishda I-I va II-II kesimlar uchun;

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right), \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) - \text{solishtirma to'la energiya}$$

(gidrodinamik dam), mos ravishda I-I va II-II kesimlar uchun;

$$h_f$$

- I-I va II-II kesimlar orasidagi

yo'qotilgan energiya (dam)

$$\alpha_1, \alpha_2$$

- Koriolis koeffitsienti, mos ravishda I-

I va II-II kesimlar uchun;

$$\alpha = \frac{\int U^3 d\omega}{v^2 Q} = \frac{\int U^2 dm}{mv^2}$$

Koriolis koeffitsientning ma'nosi haqiqiy (nuqtadagi) tezlik u orqali hisoblangan oqim kinetik energiyasining o'rtacha tezlik orqali hisoblangan oqim kinetik energiyasiga nisbatini ifodalaydi va quyidagi qiymatlarga ega $\alpha = 1.02 \dots 1.1$.

$$\gamma \text{ hajmiy og'irlik, } \frac{H}{M^3};$$

$$g - \text{erkin tushish tezlanishi, } \frac{M}{c^2};$$

$$v = \frac{Q}{\omega} - \text{o'rtacha tezlik, } \frac{cM}{c}; \frac{M}{c};$$

$$Q - \text{suyuqlik sarfi, } \frac{cM^3}{c}; \left(\frac{\pi}{c} \right); \frac{M^3}{c};$$

$$\omega - \text{harakatdagi kesim yuzasi, } cM^2, M^2.$$

1.3. Ishning maqsadi va bajarilishi kerak bo'lgan vazifalar.

Ishdan maqsad – laboratoriya sharoitida Bernulli tenglamasini tekshirish. Buni amalga oshirish uchun quyidagi vazifalarni bajarish kerak:

1. Olingan natijalar asosida, Bernulli tenglamasida qatnashgan xadlarni solishtirib ko'rish. Pezometrik va dam chiziqlarini chizish.
2. O'lchangan va hisoblangan qiymatlarning farqini aniqlash.
3. Bajarilgan ishni baholash.

1.4. Laboratoriyani o'tkazish va olingan natijalarni tekshirish.

Laboratoriya quyidagi tartibda bajariladi.

1. Jumrak (j.1) ni ochib idishni suyuqlikka to'ldiramiz (2.1- rasm).
2. Jumrak (j.2) bilan idishdagi suyuqlik sathini tartibga keltiramiz.
3. Jumrak (j.3) ni sekin-asta ochib, pezometrda suyuqlik sathini tartibga kelishini 3-4 minut kutamiz.
4. Chizg'ich yordamida pezometrda bosim balanligini o'lchaymiz va o'lchov natijalarini jadvalga yozib qo'yamiz.
5. Suyuqlik sarfini o'lchaymiz.

Laboratoriyada suyuqlik sarfini hajmiy usulda va og'irligini o'lchash orqali aniqlash mumkin.

Hajmiy usulda:
$$Q = \frac{W}{t} ;$$

bu yerda: W - suyuqlik hajmi, cm^3

t - vaqt, s.

Og'irlikni o'lchash orqali:
$$Q = \frac{G}{\rho t} ;$$

bu yerda: G - suyuqlikning og'irligi, kG;

Har bir laboratoriyada o'lchangan qiymatning aniqligini oshirish uchun 2-3 marta o'lchab, ularning qiymatini olib, natijalarni 2.1.1-jadvalda keltiramiz:

2.1.1-жадвал

Пьезо-метр-лар №	Ўлчанган қийматлар						Ҳисобланган қийматлар				Пьезомет-рик чизик, $p-p$	Тўла напор чизиги, $E-E$
	z , (см)	d , (см)	p/γ , (см)	t , (см)	W , (см)	Q , (см ³ /с)	ω , (см ²)	ϑ , (см/с)	$\frac{\alpha v^2}{2g}$, (см)	$\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)$, (см)	$\left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}\right)$, (см)	
1	60,0	4,4										
2	54,5	3,5										
3	49,0	2,7										
4	43,5	2,0										
5	38,0	2,0										
6	32,5	2,0										
7	27,0	2,7										
8	21,5	3,5										
9	16,0	4,4										

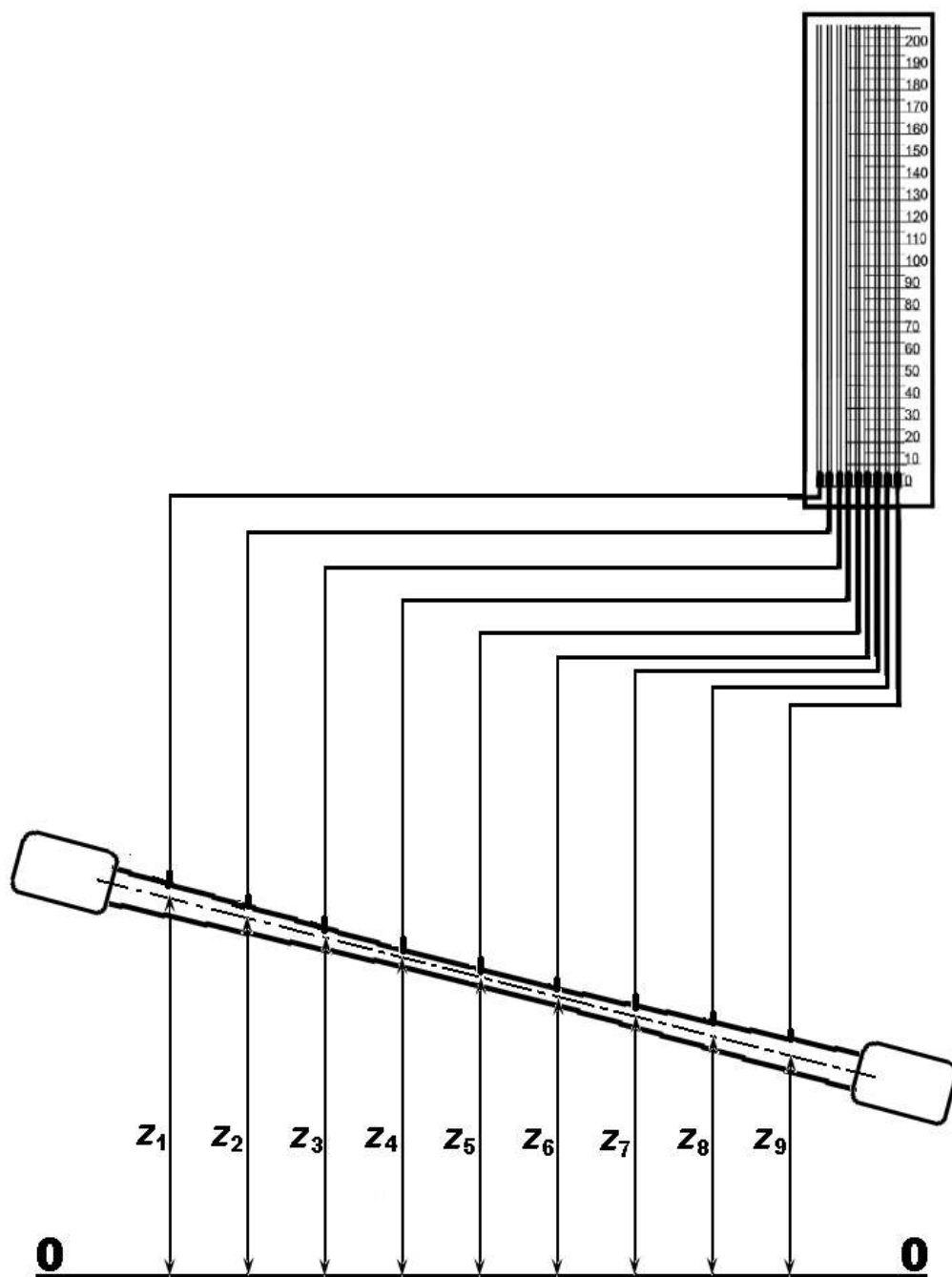
факультет _____
 йўналиш _____
 гуруҳ _____

Талабалар: 1. _____
 2. _____
 3. _____
 4. _____
 5. _____

Ўқитувчи _____

« _____ » 20 ____ й.

N_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$z,$ (см)	60,0	54,5	49,0	43,5	38,0	32,5	27,0	21,5	16,0
$d,$ (см)	4,4	3,5	2,7	2,0	2,0	2,0	2,7	3,5	4,4



1.1- rasm. Qurilmaning sxemasi

z – gorizontal taqqoslash tekisligidan quvur og'irlik markazigacha bo'lgan masofa; 1.1-жадвал қуйидаги тартибда тўлдирилади:

1. Qurilma o'lchamlaridan z_i va qiymatlari d_i olinadi;
2. Pezometrlardagi suyuqlik balandligi $\frac{p}{\gamma}$ o'lchanib, jadvalga yoziladi;
3. Pezometrlar ulangan kesimlarning yuzasi quyidagicha hisoblanadi:

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

4. Har bir kesimdagi o'rtacha tezlik quyidagicha hisoblanadi;

$$g_i = \frac{Q_{\text{yp.}}}{\omega_i}$$

5. Tezlik damini hisoblash formulasi;

$$h_v^H = \frac{\alpha v^2}{2g}$$

1.5. Ishni baholash.

Bajarilgan ishni baholash uchun o'lchangan tezlik dami bilan (Pito naychasidan olinadi), hisoblangan tezlik dami qiymatining farqi aniqlanadi. Hisob natijasi jadvalda keltiriladi:

$$\Delta x = \frac{h_v^T - h_v^H}{h_v^T} \cdot 100\%$$

1.6. Pezometrik va dam chizig'ini chizish.

Buni amalga oshirish uchun jadvalning (11) va (12) ustunlaridan foydalanamiz, ma'lumki

$$H_E = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}, \quad H_p = z + \frac{p}{\gamma};$$

Taqqoslash tekisligini qurilma o'rnatilgan poldan o'tkazamiz, u xolda $z = z_i$ bo'ladi.

Masishtab bilan chizilgan sxemaga, jadvalning 11- ustunidagi qiymatlarni quyib pezometrik va 12 – ustunidagi qiymatlarni quyib dam chiziqlarini o'tkazamiz (1.1-rasm).

2-LABORATORIA ISHI

OQIM XARAKAT TARTIBINI O'RGANISH.

2.1. Sinov savollari.

1. Laminar va turbulent harakat rejimlarining farqi nimadan iborat?
2. Reynol'ds soni nimani bildiradi va qaysi formula yordamida aniqlanadi?
3. Reynol'ds soni suyuqlikning harakatiga bog'liqmi?
4. Ixtiyoriy ko'ndalang kesimdagi oqim uchun Reynol'ds soni qanday aniqlanadi? Kritik Reynol'ds soni nimani bildiradi?

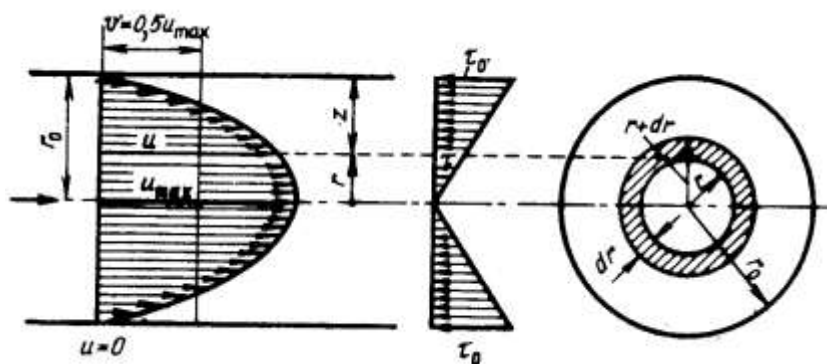
2.2. Suyuklikning harakat rejimlari.

Har qanday harakatdagi suyuqlikda quyidagi rejimlar mavjud: laminar va turbulent.

Laminar harakat davomida suyuqlik zarrachalari qavat-qavat bo'lib joylashadi va ular bir qavatdan ikkinchi qavatga o'tmaydi, oqim torlari esa birbiriga parallel bo'ladi. Quvur devori sirtidagi qavatning tezligi nolga teng bo'lib, quvur o'qiga yaqinlashgan sari tezlik oshib boradi va quvur o'qida tezlik maksimal qiymatga ega bo'ladi (2.2.2 -rasm.).

U holda, silindrik quvurdagi harakat tezligi, ko'ndalang kesim bo'ylab parabola qonuni asosida taqsimlangan bo'lib quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$u = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^2 - R_0^2) \quad (2.2.1)$$



2.2.2 - rasm. Quvur ko'ndalang kesimi bo'yicha harakat tezligining taqsimlanishi

Bu yerda: p_1, p_2 - mos ravishda I-I va II-II kesimlardagi bosim. μ - dinamik yopishqoqlik koeffitsienti. R_0 - quvurning radiusi.

Turbulent harakatda suyuqlik zarrachalari betartib harakat qila boshlaydi va oqim torlarining parallel harakati buziladi. Natijada zarrachalar o'zi harakat qilayotgan qavatdan qo'shni qavatga o'tadi va energiyasining ma'lum qismini yo'qotadi. Suyuqlikning turbulent harakati tabiatda va texnikada eng ko'p tarqalgan bo'lib, gidravlik xodisalar ichida eng murakkablar qatoriga kiradi. Shu boisdan tezlikning taqsimlanishini aniq formula orqali ifodalash murakkabdir.

Suyuqlikning harakat rejimlarini xarakterlovchi kattalikka Reynol'ds soni deyiladi va silindrik quvurlap uchun quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (2.2.2.)$$

Turli shakldagi notsilindrik quvurlap va o'zanlar uchun Reynol'ds soni:

$$Re = \frac{\omega 4R}{\nu}$$

Bu yerda: ν - oqimning o'rtacha tezligi; d - quvurning diametri; $R = \frac{\omega}{\chi}$ - gidravlik radius; ω - harakatdagi kesim yuzasi; χ - xo'llangan perimetr; ν - kinematik yopishqoqlik koeffitsienti bo'lib, suyuqlikning xiliga va haroratiga bog'liq ravishda o'zgaradi.

Quyidagi jadvalda suv uchun yopishqoqlikning kinematik koeffitsienti keltirilgan:

Kinematik yopishqoqlik koeffitsienti 2.2.2-jadval

t, °C	$\nu, 10^{-4} \text{ m}^2/\text{c}$	t, °C	$\nu, 10^{-4} \text{ m}^2/\text{c}$
0	0,0179	18	0,0106
2	0,0167	20	0,0101
4	0,0157	25	0,0090
6	0,0147	30	0,0080
8	0,0139	35	0,0072
10	0,0131	40	0,0065
12	0,0124	45	0,0060
14	0,0118	50	0,0055
16	0,0112	60	0,0048

Suyuqlikning laminar harakatdan turbulent harakatga o'tishi Reynol'ds soni Re – ning ma'lum kritik miqdori bilan aniqlanadi va u Reynol'ds kritik soni Re_{kp} deb ataladi.

$Re < Re_{kp}$ -rejimi;*

$Re > Re_{kp}$ -rejimi.*

2.3. Ishning maqsadi va bajarilishi kerak bo'lgan vazifalar.

Laboratoriya ishidan maqsad laboratoriyada ikki xil harakat rejimlarining mavjudligini kuzatish. Buning uchun quydagi vazifalarni bajarish kerak:

1. Reynol'ds qurilmasining shiya naychasida laminar va turbulent harakat rejimini sun'iy ravishda hosil qilish.
2. Kuzatayotgan rejimlar uchun Reynol'ds sonini aniqlash va kritik Reynol'ds soni bilan solishtirish.

2.4. Laboratoriyani bajarish va natijalarni tekshirish.

Ishni bajarish uchun quyidagi ishlarni bajarish kerak (2.2.3-rasm):

1. Jumrak (j.1) ni burab, 1 – idishni suvga, 2 – idishni esa, rangli suyuqlikka to'ldiramiz.
2. Idishga o'rnatilgan termometr yordamida suyuqlik haroratini o'lchaymiz.
3. Jumrar (2.j) ni asta-sekin ochib, suyuqlikni juda kichik tezlik bilan oqizamiz.
4. 2- idishdagi rangli suyuqlikni shisha naychaga quyib yuboramiz. Agar rangli suyuqlik aralashmasa to'g'ri chiziq bo'ylab, oqimcha ko'rinishida harakat qilsa, demak, suyuqlik harakati laminar (2.2.3-rasm (b)) bo'ladi.
5. Xuddi shu holatda suyuqlik sarfini o'lchab, jadvalga yozamiz.
6. Shisha naychada turbulent harakat rejimi paydo qilish uchun jumrak (j.2) yordamida tezlikni oshiramiz. Natijada rangli suyuqlik betartib harakat qiladi va bunday xarakterli turbulent harakat (2.2.3-rasm (v)) deyiladi.
7. Xuddi shu holatda suyuqlik sarfini o'lchaymiz va jadvalga yozamiz.
8. Ikkala harakat rejimi uchun ham Reynol'ds soni hisoblanadi va natijalari jadvalda keltiriladi (2.2.3-jadval)
9. Xuddi shunday laboratoriya 3 – 4 marotaba takrorlanadi.

2.5. Ishni baholash

Kuzatilgan xarakterli harakat rejimi uchun hisoblangan Reynol'ds sonini kritik Reynol'ds soni bilan solishtirib, laboratoriya baholanadi va xulosalar 2.2.3 – jadvalning xulosa ustuniga yoziladi.

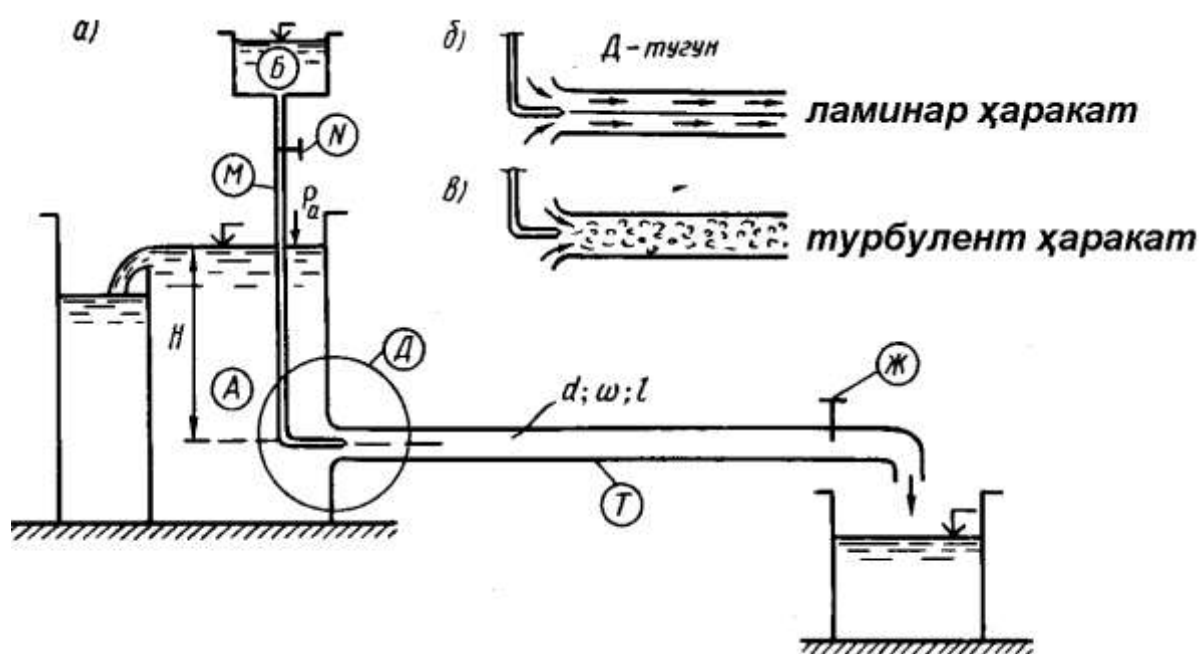
2.2.3-jadval

№	O'lchangan	Hisoblangan qiymatlar	Xulosa
---	------------	-----------------------	--------

	qiymatlar								suyuqlik harakat rejimi
	$T, ^\circ C$	t, c	W, m^3	$Q, m^3/c$	ω, m^2	$g, m/c$	Re	$Re_{кр}$	
1								2320	
2									
3									
4									

Eslatma: $T, (^{\circ}C)$ – suyuqlikning harorati;

ω - shisha naychanning ko'ndalang kesim yuzasi.



2.3- rasm. Reynolds qurilmasi

3- LABORATORIYA ISHI

GIDRAVLIK ISHQALANISH KOEFFITSIENTI VA YO'QOTILGAN BOSIM BALANDLIGINI ANIQLASH

3. QUVURNING UZUNLIGI BO'YICHA YO'QOLGAN ENERGIYANI HISOBLASH

3.1. SINOV SAVOLLARI

1. Quvurning uzunligi bo'yicha yo'qolgan energiya qaysi formula yordamida hisoblanadi, formuladagi xadlarning nomini aytib bering.
2. Uzunlik bo'yicha yo'qolgan energiya tezlikka bog'liqmi?
3. Gidravlik silliq sirda gidravlik ishqalanish koefitsienti qanday aniqlanadi?
4. Gidravlik ishqalanish koefitsienti - kvadrat qarshilik zonasida nega Reynolds soniga bog'lik emas?

3.2. Energiyaning uzunlik bo'yicha yo'qolishi

Ishqalanish qarshiligi suyuqlikka quvurning butun uzunligi bo'yicha ta'sir qiladi. Natijada suyuqlikning ma'lum energiyasi bu qarshilikni yengish uchun sarflanadi.

Laminar harakatda uzunlik bo'yicha yo'qolgan energiya quyidagicha hisoblanadi:

Ньютон gipotezasiga asosan ichki ishqalanish kuchi:

$$F = \mu S \frac{\partial U}{\partial r} \quad \text{ёки} \quad \tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{\partial U}{\partial r} \quad (2.3.1)$$

$\frac{\partial U}{\partial r}$ – ning o'rniga laminar harakatdagi tezlik formulasini quyamiz. U xolda:

$$\tau = \frac{P_1 - P_2}{2l} r \quad (2.3.2)$$

Ma'lumki, silindrik quvurda uzunlik bo'yicha yo'qotilgan energiya, ishqalanish kuchi orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$h_l = \frac{\tau}{\gamma} \frac{\pi d}{S} l \quad (2.3.3)$$

Bu yerda: τ – urinma zo'riqish;

S – qatlamlarning sirti;

l – oqim uzunligi;

d – quvurning diametri.

Kesimlardagi bosim farqi $p_1 - p_2$ ni tezlik orqali ifodalasak:

$$P_1 - P_2 = \frac{32\mu l}{d^2} \nu$$

U holda, (1), (3) ni (2) qo'yib laminar harakatda uzunlik bo'yicha yo'qolgan energiyani quyidagicha hisoblaymiz:

$$h_l = \frac{64}{\text{Re}} \frac{l}{d} \frac{\nu^2}{2g} \quad (2.3.4)$$

$\frac{64}{\text{Re}}$ – ko'rinishdagi miqdor gidravlikada « λ » orqali belgilanadi va gidravlik ishqalanish koeffitsienti deyiladi.

$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$ - formulasiga, Puazeyl formulasi deyiladi.

Turbulent harakat uchun uzunlik buyicha yuqolgan energiya, Darsi-Veysbax formulasi yordamida aniqlanadi:

$$h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{\nu^2}{2g} \quad (2.3.5)$$

bu yerda: l – quvurning uzunligi;
 d – quvurning diametri;
 ν – o'rtacha tezlik;
 λ – gidravlik ishqalanish koeffitsienti.

Yuqorida ko'rganimizdek, laminar harakatda « λ » faqat Reynolds soniga bog'liq bo'ladi. Turbulent harakatda esa « λ » Reynolds soniga va quvurning g'adirbudurligi (Δ) ga bog'liqdir:

$$\lambda = f\left(\text{Re}; \frac{\Delta}{d}\right) \quad (2.3.6)$$

Gidravlik ishqalanish koeffitsienti « λ » haqida to'liq ma'lumotni Nikuradze laboratoriyalaridan olish mumkin (1-rasm).

Grafikdan ko'rinib turibdiki, « λ » va « Re » orasidagi bog'lanishda uchta zona mavjud.

I zona. Laminar harakat zonasi bo'lib, « λ » Puazeyl formulasi yordamida aniqlanadi.

II zona. O'tish zonasi deyiladi. Bu zonada « λ » Reynolds soniga bog'liq bo'lib, uning qiymatini Blazius formulasidan aniqlash mumkin.

III zona. Turbulent harakat zonasi. Bu zonada uchta soha mavjud:

a) Hidravlik silliq sirt qarshilik sohasi deyiladi va bu soha uchun « λ » Blazius formulasidan aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (2.3.7)$$

b) Kvadrat qarshilikgacha bo'lgan soha. Bu sohada « λ » Reynolds soniga va quvurning g'adir-budurligiga bog'liq bo'lib Altshul fopmulasi yordamida aniqlanadi:

$$\lambda = 0,1 \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{100}{Re} \right)^{1/4} \quad (2.3.8)$$

v) Kvadrat qarshilik sohasi. Bu sohada « λ » faqat quvurning nisbiy g'adir-budurligiga bog'liq va Shifrinson formulasida aniqlanishi mumkin:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{1/4} \quad (2.3.9)$$

Shuni ham aytib o'tish kerakki, hamma zonalar uchun tug'ri keladigan yagona formula ham mavjud. Bu K.Sh.Latipov formulasida bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega:

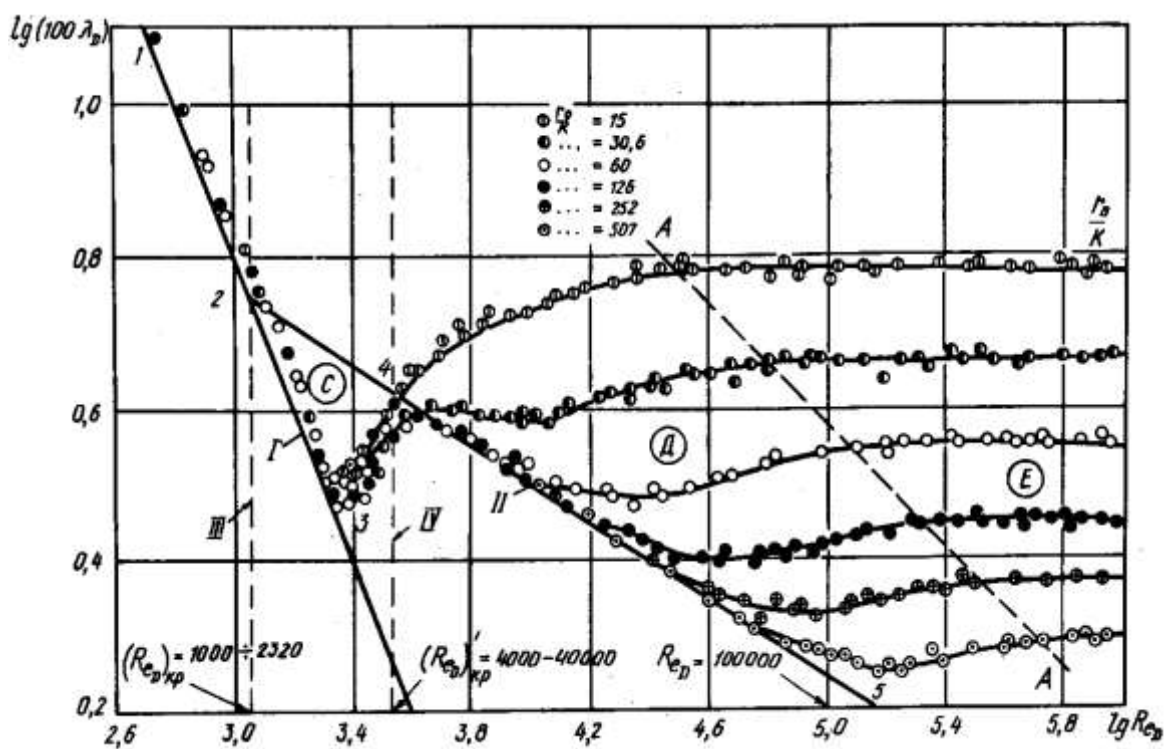
$$\lambda = \frac{8}{Re} \cdot \frac{x J_0(x)}{J_2(x)}$$

bu yerda: - J_0, J_2 mafhum argumentli Bessel funktsiyalari.

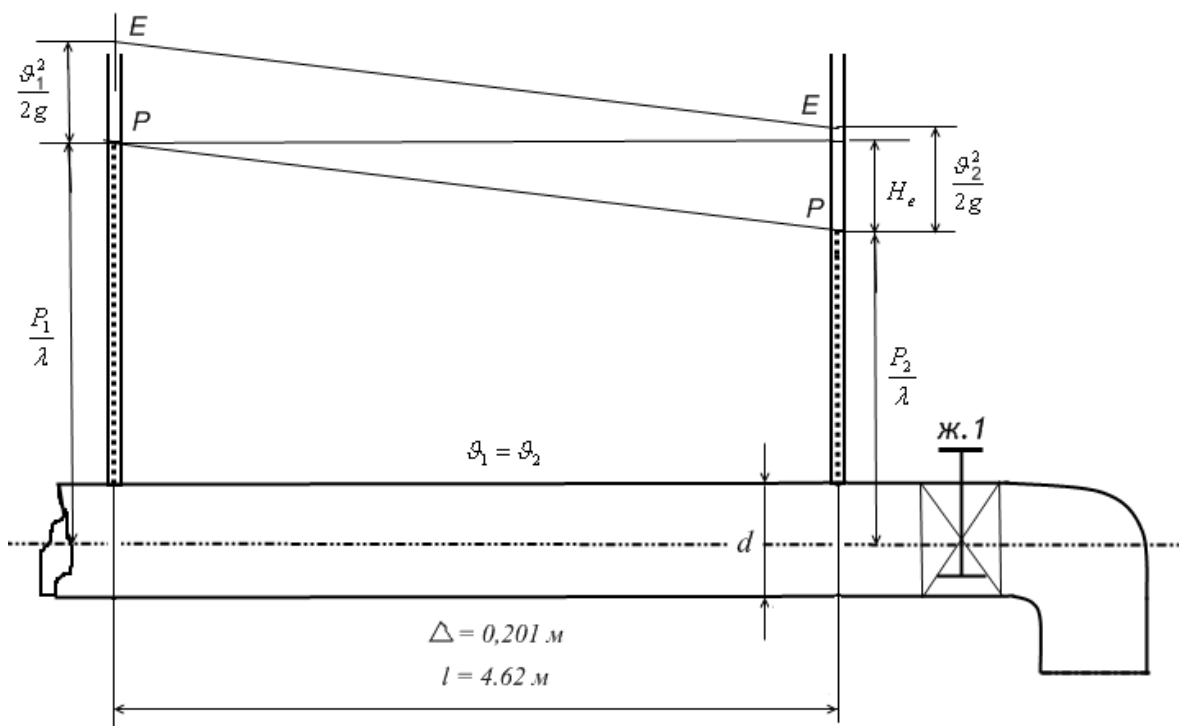
3.3. Ishning maqsadi va bajarilishi kerak bo'lgan vazifalar

Laboratoriya ishidan maqsad, laboratoriya asosida, uzunlik bo'yicha yo'qolgan energiyani aniqlovchi formulalarni tekshirish. Buning uchun quyidagi vazifalarni bajarish kerak.

1. Laboratoriya asosida, uzunlik bo'yicha yo'qolgan energiyani va gidravlik ishqalanish koeffitsientini aniqlash.
2. Formula asosida, uzunlik bo'yicha yo'qolgan energiyani va gidravlik ishqalanish koeffitsientini hisoblash.
3. Laboratoriya va formula asosida aniqlangan qiymatlarni solishtirib, farqini aniqlash.



3.1-rasm. Nikuradze grafiklari



3.2- rasm. Qurilmaning sxemasi

3.4. Ishni bajarish tartibi

Ishni uzunlik bo'yicha yo'qolgan energiyani laboratoriyada aniqlashdan boshlaymiz:

1. 1- va 2-piezometrlarning ko'rsatkichlarini yozib olamiz (3-rasm).
2. Hajmiy usulda quvurdan o'tayotgan suyuqlik sarfini o'lchaymiz.
3. Suyuqlikning xaroratini o'lchaymiz.
4. Jumrak (j.1) yordamida suyuqlik sarfini o'zgartiramiz va boshqa sarf uchun yuqoridagi ishlarni takrorlaymiz.

Olingan natijalar jadvalga tushirilib, quyidagi tartibda tahlil qilinadi:

1. Piezometrlar farqidan, yuqolgan energiyani hisoblayamiz:

$$h'_l = \frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}$$

2. Gidravlik ishqalanish koeffitsienti « λ » ni hisoblaymiz:

$$\lambda = h'_l \frac{d}{l} \frac{2g}{v^2};$$

2. Yuqoridagi qiymatlarni (H_E, λ) hisoblash formulalari yordamida hisoblaymiz:

$$\lambda = 0,1 \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{100}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad h'_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{v^2}{2g};$$

4. Hisoblangan va laboratoriyada olingan qiymatlarning farqini hisoblaymiz va jadvalda keltiramiz.

5. Olingan qiymatlarning aniqligini oshirish uchun laboratoriya 2-3 marotaba qaytariladi

Тажриба натижалари

Тажриба тартиб сони	Ўлчанган кийматлар				Ҳисобланган кийматлар								Хулоса	
					Умумий				Тажриба асосида		Формулалар асосида			
									$h'_i, см$	λ'	$h_i, см$	λ		
1	$\frac{P_1}{\gamma}, см$	$\frac{P_2}{\gamma}, см$	$t, с$	$W, см^3$	$Q, см^3/с$	$v, см/с$	Re	8	9	10	11	12	$\Delta h_i, \%$	$\Delta \lambda, \%$
	2	3	4	5	6	7								
1														
2														
3														
4														

4-LABORATORIYA ISHI

4. MAXALLIY QARSHILIK KOEFFITSIENTINI ANIQLASH

4.1. Sinov savollari

1. Mahalliy qarshiliklarda yo'qolgan energiyani hisoblovchi umumiy formulani yozing.
2. Qarshilik koeffitsienti qaysi kattaliklarga bog'liq?
3. Qanday mahalliy qarshilikda yo'qolgan energiya nazariy formula orqali hisobdanadi?
4. Bosim o'zgarishi bilan mahalliy qarshiliklarda yo'qolgan energiya kanday o'zgaradi?
5. Nega kesimi o'zgarmas quvur burilishidagi energiya pëzometrlar farqiga teng?

4.2. Mahalliy qarshiliklarda energiyaning yo'qolishi

Suyuqlik quvurlarda harakat qilganda turli to'siqlarni aylanib o'tishi uchun energiya sarflaydi va natijada damning kamayishiga sabab bo'ladi. Mahalliy qarshiliklarda yo'qolgan energiya, qarshilikdan oldingi va keyingi solishtirma energiyalarning farqiga teng.

$$h_m = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (2.4.1)$$

yoki

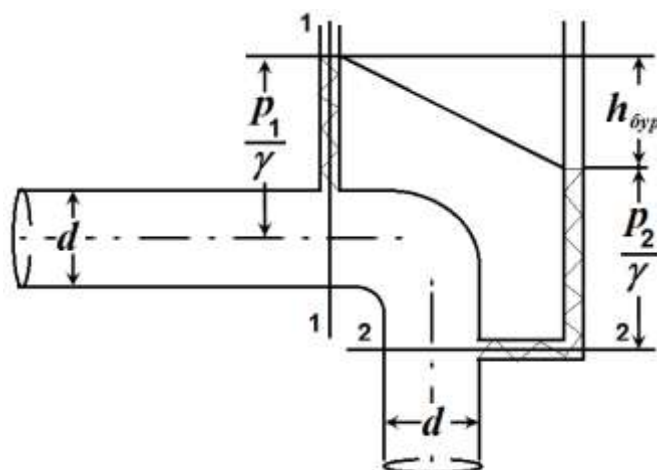
$$h_m = \left(h_{p_1} - h_{p_2} \right) + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \quad (2.4.2)$$

Bu erda: $h_{p_1} - h_{p_2}$ - pezometrik naporlarning farqi;

$\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$ - tezlik naporlarining farqi.

Amaliy hisoblarda, mahalliy qarshiliklarda energiyaning yo'qolishi tezlik naporiga bog'liqdir.

$$h_m = \xi_m \frac{v^2}{2g} \quad (2.4.3)$$



2.4.1- rasm. Burilishda yo'qolgan energiyani aniqlashga doir

4.3. Ishning maqsadi va bajarilishi

kerak bo'lgan vazifalar

Ishdan maqsad laboratoriyalar asosida mahalliy qarshiliklarda yo'qolgan energiyani hisoblovchi formulalarni tekshirish. Buning uchun quyidagi vazifalarni bajarish kerak bo'ladi:

1. Hisoblash formulalari yordamida keskin kengayishda va burilishda yuqolgan energiyani hisoblash.
2. Laboratoriya asosida, keskin kengayishda va burilishda yuqolgan energiyani aniqlash.
3. Hisoblangan va o'lchangan qiymatlarni solishtirish.

4.4. Laboratoriyani o'tkazish va olingan

natijalarni tekshirish.

Birinchi, keskin kengayishda yuqolgan energiyani aniqlaymiz.

Qurilma ishga tushirilgandan keyin, laboratoriya quyidagi tartibda bajariladi va natijalar 2-jadvalga yoziladi.

1. 1- va 2-p'ezometrlardan sanoq olinadi (2-rasm).
2. Hajmiy usulda suyuqlik sarfi o'lchanadi.
3. (2) formula yordamida keskin kengayishda yo'qolgan energiya, (3) formula yordamida esa qarshilik koeffitsienti hisoblanadi.
4. (4), (5), (6) hisoblash formulalari yordamida keskin kengayishda yuqolgan energiya va mahalliy qarshilik koeffitsienti hisoblanadi:

$$h_M = \xi_M \frac{v^2}{2g}$$

Bu erda: ξ_M - qarshilik koeffitsienti, qarshilikning turiga qarab har xil qiymatga ega bo'ladi; v - o'rgacha tezlik;

Mahalliy qarshiliklarning juda ko'p turlari mavjud bo'lib, bularning har biri uchun znergiyaning yuqolishi turlichadir.

Bu laboratoriya ishida, 2 xil mahalliy qarshilikda yo'qotilgan energiyani hisoblaymiz: kesim kengayishda va 90° burilishda.

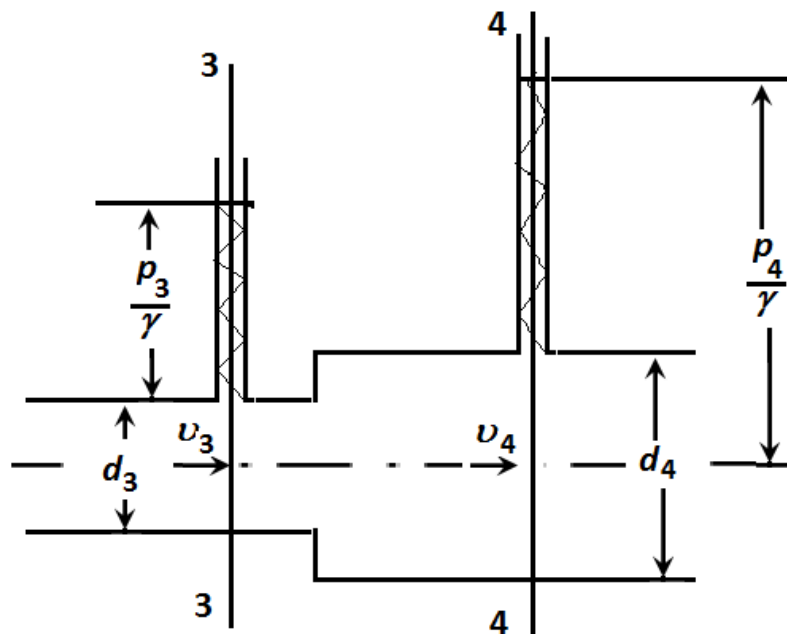
Keskin kengayishda yo'qolgan energiya nazariy formula - Borda formulasi yordamida hisoblanadi:

$$h_{KK}^H = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (2.4.4)$$

Bu holda, mahalliy qarshilik koeffitsienti - ξ_{KK} quyidagicha aniqlanadi (3-rasm):

$$\xi_{KK}^H = \left(1 - \frac{v_1}{v_2}\right)^2 \quad (2.4.5)$$

$$\xi_{KK}^H = \left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right)^2 \quad (2.4.6)$$



4.2- rasm. Keskin kengayishda yo'qolgan energiyani aniqlashga doir

rasm. Keskin kengayishda yo'qolgan energiyani aniqlashga doir:

$$h_{\sigma} = \xi_{\sigma} \frac{v^2}{2g} \quad (2.4.7)$$

Bu erda: ξ_{σ} - burilishdagi qarshilik koeffitsienti bo'lib, laboratoriyalar asosida aniqlanadi.

Hisoblangan va o'lchangan qiymatlar solishtirilib ko'riladi, ularning farqi esa quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\Delta h_M = \frac{\Delta h_M^H - \Delta h_M^m}{\Delta h_M^m} 100\% \quad (2.4.8)$$

$$\Delta \xi_M = \frac{\xi^H - \xi^m}{\xi^m} 100\% \quad (2.4.9)$$

Bu erda: Δh_M^m , ξ^m - laboratoriyada aniqlangan qiymat;

Δh_M^H , ξ^H - nazariy aniqlangan qiymat.

Endi burilishda yo'qolgan energiyani aniqlaymiz.

Laboratoriya quyidagi tartibda bajariladi va natijalar 2-jadvalga yoziladi:

1. 3- va 4-pezometrlardan (2-rasm) sanoq olinadi.
2. Hajmiy usulda sarf aniqlanadi.
3. Burilishda yo'qolgan energiya hisoblanadi:

$$h_{\sigma}^m = \xi_{\sigma} \frac{v^2}{2g} \quad (2.4.10)$$

$$h_{\sigma}^m = \frac{p_3}{\gamma} - \frac{p_4}{\gamma} \quad (2.4.11)$$

1. (7) hisoblash formulasi yordamida burilishda yo'qolgan energiya va burilishdagi mahalliy qarshilik koeffitsienti aniqlanadi.
2. Xisoblangan va aniqlangan qiymatlar solishtirilib, farqi quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\Delta h_M = \frac{\Delta h_M^H - \Delta h_M^m}{\Delta h_M^m} 100\% \quad (2.4.12)$$

$$\Delta \xi = \frac{\xi_{\sigma}^m - \xi_{\sigma}^H}{\xi_{\sigma}^H} 100\% \quad (2.4.13)$$

Bu erda: Δh_M^m - laboratoriyadan olingan qiymat;

Δh_M^H - formula yordamida hisoblangan qiymat;

ξ_{σ}^m - laboratoriya asosida aniqlangan koeffitsient;

$\xi_{\tilde{O}}^H$ - jadvaldan olingan qiymat bo'lib, $\xi_{\tilde{O}}^H=1,1$.

Тажриба натижалари

Пезометрлар	d, мм	Қарши- лик тури	Ўлчанган кийматлар			Ҳисобланган кийматлар												Хулоса			
			умумий					тажриба асосида					формула ва жадвалдан								
			P γ см	t, с	W, см ³	Q , см ³ /с	ω , см ²	ν , см/с	$\frac{\nu^2}{2g}$, см	h_{KK}^m , см	h_{θ}^m , см	ξ_{KK}^m	ξ_{θ}^m	h_{KK}^H , см	h_{θ}^H , см	ξ_{KK}^H	ξ_{θ}^H	Δh_{KK} , %	Δh_{θ} , %	$\Delta \xi_{KK}$, %	$\Delta \xi_{\theta}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1		кескин кента- йиш																			
2																					
3		кескин бури- лиш																			
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					

Test savollari

I-IV bobga doir test-nazorat savollari

1. Hidrodinamik bosim nima va u qanday birliklarda o'lchanadi?

- a) Suyuqlik o'z harakati davomida gidrostatik bosimdan tashqari qo'shimcha bosimga ega bo'ladi, shu sababli gidrodinamik bosim tushunchasi kiritiladi. U bosim o'lchov birliklarida o'lchanadi;
- b) Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning birlik yuzasiga ta'sir etayotgan kuchni xarakterlovchi kattalik, H/m^2 ; KZK/m^2 ;
- c) Hidrodinamik bosim bu napor, uzunlik o'lchov birliklarida o'lchanadi;
- d) Hidrodinamik bosim miqdor jihatdan gidrostatik bosimga teng kattalikdir, bosim o'lchov birliklarida o'lchanadi..

2. Hidrodinamik va gidrostatik bosim o'rtasida qanday farq bor?

- a) Suyuqlik o'z harakati davomida gidrostatik bosimdan tashqari qo'shimcha bosimga ega bo'ladi, shu sababli gidrodinamik bosim tushunchasi kiritiladi;
- b) Hech qanday farq yo'q;
- c) Hidrodinamik bosim bu napor, gidrostatik bosim esa birlik kuch miqdoridir;
- d) Hidrodinamik bosim miqdor jihatdan gidrostatik bosimga teng kattalikdir.

3. Barqaror harakat nima?

- a) Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o'zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
- b) Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o'zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
- c) Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o'zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi
- d) Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o'zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi.

4. Beqaror harakat nima?

- a) Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o'zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
- b) Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o'zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
- c) Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o'zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi
- d) Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o'zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi.

5. Hidrodinamika bo'limi nimani o'rgatadi?

- a) Suyuklik harakat qonunlarini o'rganib, texnikaga tadbiq etish uchun uslubiyatlar yaratadi;
- b) Suyuklikning muvozanat qonunlarini o'rganib, texnikaga tatbik etishini o'rgatadi;
- c) Suyukliklarni xossalarini o'rganib, texnikaga tatbik etishni o'rgatadi;
- d) Muvozanatdagi suyuqlikka ta'sir etuvchi kuchlarni o'rgatadi.

6. Oqimning barqaror tekis va notekis harakatlar o'rtasidagi tafovutni ko'rsating.

- a) Hech qanaqa tafovut yo'q;
- b) Oqimning barqaror tekis harakatida oqim bo'ylab tezlik va sarf o'zgarsa, notekis harakatda bu kattaliklar o'zgarmaydi;
- c) Oqimning barqaror tekis harakatida oqim bo'ylab tezlik o'zgarsa, notekis harakatda bu kattalik o'zgarmaydi;
- d) Oqimning barqaror tekis harakatida oqim bo'ylab tezlik o'zgarmaydi, notekis harakatda bu kattalik o'zgarib turadi.

7. Naporsiz va naporli harakatlar o'rtasidagi tafovutni izohlang.

- a) Suyuqlik oqimi harakati davomida xarakatdagi kesimining bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashmagan bo'lsa bunday harakat naporli bo'lib, harakatdagi kesimning bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashgan bo'lsa, ya'ni oqim erkin sirtga ega bo'lsa, harakat naporsiz bo'ladi;
- b) Xarakatdagi kesim bo'ylab bosim taqsimlanishi gidrostatik qonuniyatga bo'ysunsa, harakat naporli, aks holda naporsiz bo'ladi;
- c) Quvurlardagi suyuqlik harakati naporli bo'lib, o'zanlarda oqim naporsiz harakatlanadi;
- d) Suyuqlik oqimi harakati davomida xarakatdagi kesimining bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashgan bo'lsa, bunday harakat naporli bo'lib, harakatdagi kesimning bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashmagagan bo'lsa, harakat naporsiz bo'ladi;

8. Bu formula nimani ifodalaydi? $Q = \int_{\omega} u d\omega$

- a) Uzluksizlik tenglamasi;
- b) Real suyuqlik uchun Bernulli tenglamasi;
- c) Laplas tenglamasi;
- d) Carfni aniklash formulasi.

9. Harakatdagi suyuqlik uchun Eyler tenglamasi qanday ko'rinishga ega?

$$a) \left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} \end{aligned} \right\};$$

$$b) \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0;$$

$$c) \left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_y}{\partial t} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial t} \end{aligned} \right\};$$

d) a va b javoblari tўg'ri

10. Bu formula nimani ifodalaydi? $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$

- a) Ideal suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasini;
- b) Real suyuqlik uchun Bernulli tenglamasini;
- c) Eyler tenglamasini (harakatdagi suyuqlik uchun);
- d) Arximed formulasini.

11. Pezometr va Pito naychasining farqi nimalardan iborat?

$$a) \frac{v^2}{2g}; \quad b) \frac{p}{\gamma}; \quad c) \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}; \quad d) z + \frac{p}{\gamma}.$$

12. Qachon nuqtadagi tezlik taqsimoti o'zgarmas bo'ladi?

- a) Suyuklikni real deb qarasak;
- b) Suyuklikni ideal deb qarasak;
- c) Suyuklik to'g'ri to'rtburchakli novlarda harakatlanganda;
- d) Suyuqlik silindrik quvurlarda harakatlanganda.

13. Suyuklik harakatining uzluksizlik tenglamasini ko'rsating?

$$a) v_2 \omega_1 = v_2 \omega_2$$

- b) $\nu_2\omega_1 = \nu_2\omega_2 = \nu_3\omega_3 = \dots = \nu_n\omega_n = \text{const}$
 c) $Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = \text{const}$
 d) Xammasi to'g'ri

14. Real suyuqlik harakati davomida napor chizig'i:

- a) oqimbo'ylab ko'tarilib boradi;
 b) gorizontal bo'ladi;
 c) vertikal bo'ladi;
 d) oqim bo'ylab pasayib boradi

15. Bu formula nimani ifodalaydi? $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \nu_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \nu_2^2}{2g} + h_f$

- a) Ideal suyuqlik uchun Bernulli tenglamasini;
 b) Real suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasini;
 c) Eyler tenglamasini (harakatdagi suyuqlik uchun);
 d) Arximed formulasini.

16. Gidravlik nishablik qachon nolga teng bo'ladi?

- a) Suyuqlikni real deb qaralganda;
 b) Suyuqlikni ideal deb qaralganda;
 c) Suyuqlik to'g'ri turtburchakli novlarda harakatlanganda;
 d) Suyuqlik trapetsiadal novlarda harakatlanganda

17. Oqim sarfi, suyuqlik tezligi, o'rtacha tezlik, gidravlik radius va ho'llangan perimetrlarning belgilanishlarini ko'rsating.

- a) Q, u, ν, R, χ ; b) Q, u, ν, C, χ ; c) Q, ν, ν, R, χ ; d) Q, u, ν, R, χ .

18. Oqim sarfi, suyuqlik tezligi, o'rtacha tezlik, gidravlik radius va ho'llangan perimetrlarning o'lchov birliklarini ko'rsating.

- a) $Q - \frac{M^3}{c}; u - \frac{M}{c}, \nu - \frac{M}{c}, R - M, \chi - M$;
 b) $Q - \frac{\pi}{c}; u - \frac{M^2}{c}, \nu - \frac{M^2}{c}, R - M, \chi - M$;
 c) $Q - \frac{M^3}{c}; u - \frac{M}{c}, \nu - \frac{M}{c}, R - \frac{M}{c}, \chi - M^2$;
 d) $Q - \frac{M^3}{c}; u - M, \nu - \frac{M}{c}, R - M, \chi - M$.

19. Oqim harakatdagi kesimi yuzasi belgisini va uning o'lchov birligini ko'rsating.

- a) $\omega - \mathcal{M}^2$; b) $\chi - \mathcal{M}^2$; c) $\omega - \mathcal{M}$; d) $\nu - \mathcal{M}^2$.

20. Laminar tartibdagi harakatda quvurlar uchun

- a) $Re > 2320$; b) $Re < 2320$; c) $Re = 2320$; d) $Re = 0$.

21. Turbulent tartibdagi harakatda quvurlar uchun

- a) $Re > 2320$;
a) $Re < 2320$;
b) $Re = 2320$;
c) $Re = 0$.

22. Real suyuqliklar harakati tenglamasini izohlang.

$$a) \left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} - \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right); \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} - \nu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right); \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} - \nu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right). \end{aligned} \right\}$$

$$b) \left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{du_x}{dt} - F_x &= 0; \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{du_y}{dt} - F_y &= 0; \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{du_z}{dt} - F_z &= 0 \end{aligned} \right\}$$

c) $Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = \text{const};$

d) $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f$

V bobga doir test-nazorat savollari

1. To'g'ri o'zan nima va uning asosiy tenglamasi qanday ko'rinishga ega?

- a) Urinma kuchlanish qiymati o'zan uzunligi va ho'llanganlik perimetri bo'yicha o'zgarmas bo'lsa, bunday o'zanlar «to'g'ri o'zanlar» deyiladi. $\tau_0/\gamma = RJ$;
a) Uzunlik bo'yicha harakatdagi kesimi o'zgarmas o'zanlar «to'g'ri o'zanlar» deyiladi. $\tau_0/\gamma = RJ$;

- b) $(\tau_o \neq \text{const}), v = CR\sqrt{J}$;
 c) To'g'ri javob yo'q.

2. Napor yo'qolishlarini yozing.

$$a) h_f = \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}; \quad b) h_f = h_l + \sum h_j; \quad c) h_f = \sum h_j; \quad d) h_f = h_l.$$

3. Veysbax formulasini ko'rsating.

$$a) h_l = \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}; \quad b) h_l = \xi \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}; \quad c) h_l = \frac{\tau_0}{\gamma}; \quad d) h_f = h_l.$$

4. Shezi koeffitsientini va formulasini ko'rsating.

$$a) C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}; h_l = \xi \frac{v^2}{2g}; \quad b) C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}; h_l = \xi \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g};$$

$$c) h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}; v = C\sqrt{Ri}; \quad d) C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}; v = C\sqrt{Ri}$$

5. Laminar harakat tartibida gidravlik ishqalanish koeffitsienti qaysi formula bilan hisoblanadi?

- a) Puazeyle formulasida; b) Darsi-Veysbax formulasida;
 c) Veysbax formulasida; d) Shezi formulasida.

6. Quvurlarda harakatlanayotgan suyuqlik oqimining uzunligi bo'yicha yo'kolgan nabori qaysi formula bilan aniqlanadi?

- a) Puazeyle formulasida; b) Darsi-Veysbax formulasida;
 c) Veysbax formulasida; d) Shezi formulasida.

7. Suyuqlikning qanday harakat tartibida Koriolis koeffitsienti $\alpha=2$ bo'ladi?

- a) Tinch holatida; b) Laminar harakat tartibida;
 c) Turbulent harakat tartibida; d) Laminar va turbulent harakatlarda.

8. Qanday holatlarda gidravlik qarshiliklar nolga teng deb olinadi?

- a) Suyuqlik oqimining laminar harakatida;
 b) Qisqa quvurlarda;
 c) Suyuqlik oqimining turbulent harakatida;
 d) Suyuqlikni ideal deb faraz qilinganda.

9. Qanday quvurlarda gidravlik radius quvur radiusining yarmiga teng?

- a) To'g'ri to'rtburchakli quvurlarda suyuqlik harakatlanganda;
- b) Suyuqlik trapetsiadal kesimli o'zanlarda harakatlanganda;
- c) Tsilindrik trubalarda suyuqlik ostida harakatlanganda
- d) Tsilindrik trubalarda suyuqlik naporsiz harakatlanganda.

10. Quvurning keskin kengayishida yo'kolgan napor qanday formulada aniqlanadi?

- a) Darsi-Veysbax formulasida;
- b) Bord formulasida;
- c) $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$;
- d) $0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$

11. Quvurning keskin torayishida yo'kolgan napor qanday formulada aniqlanadi?

- a) Darsi-Veysbax formulasida;
- b) Bord formulasida;
- c) $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$;
- d) $0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$

12. Turbulent tarakat tartibining kvadrat qarshilik qismida gidravlik ishqalanish –Darsi koeffitsienti qaysi formula bilan hisoblanadi?

- a) Darsi-Veysbax formulasida;
- b) Bord formulasida;
- c) Puazeyl formulasida;
- d) Shifrinson formulasida.

13. Quvurda laminar tartibda tekis barqaror harakatlanayotgan oqimning tezligi va maksimal tezligini yozing.

$$a) u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2); u_{\max} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} J r_0^2; \quad b) u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2 - r^2); u_{\max} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} J r_0^2;$$

$$c) u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r^2); u_{\max} = \frac{Q}{\nu}; \quad d) u = Q/\nu; u_{\max} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} J r_0^2$$

14. Qanday holatda quvurda harakatlanayotgan oqimning o'rtacha tezligi maksimal tezlikning yarmiga teng bo'ladi?

- a) Suyuqlikni ideal deb faraz qilinganda;
- b) Suyuqlikning laminar tartibdagi tekis barqarorharakatida;
- c) Suyuqlikning turbulenttartibdagi barqarorharakatida;
- d) Suyuqlikning beqaror harakatida.

15. Quvurda turbulent tartibda barqaror harakatlanayotgan oqimning o'rtacha tezligi va maksimal tezliklari o'rtasidagi munosabatni yozing.

$$a) \frac{u_{\text{макс}}}{v} = 0,75 \div 0,90;$$

$$b) \frac{v}{u_{\text{макс}}} = 0,5;$$

$$c) \frac{v}{u_{\text{макс}}} = 0,20;$$

$$d) \frac{v}{u_{\text{макс}}} = 0,75 \div 0,90;$$

16. Laminar qatlam nima?

- a) Quvur devori yaqinidagi suyuqlik oqimi o'rtalashtirilgan tezligining nihoyatda kichik miqdori hisobiga laminar tartibdagi harakati mavjud bo'lgan qatlam ($\square$);
- b) Quvur markazi yaqinidagi suyuqlik oqimi o'rtalashtirilgan tezligining nihoyatda katta miqdori hisobiga turbulent tartibdagi harakati mavjud bo'lgan qatlam;
- c) Laminar tartibda harakatlanayotgan oqim;
- d) Turbulent tartibda harakatlanayotgan oqim.

17. Silliq quvur nima?

- a) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan katta bo'lganda silliq devorlar mavjud bo'ladi ($\square \square \square$);
- b) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan kichik bo'lganda silliq devorlar mavjud bo'ladi ($\square < \square$);
- c) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklariga teng bo'lganda silliq devorlar mavjud bo'ladi ($\square \approx \square$);
- d) To'g'ri javob yo'q.

18. G'adir-budir quvur nima?

- a) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan katta bo'lganda g'adir-budir devorlar mavjud bo'ladi ($\square \square \square$);
- b) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan kichik bo'lganda g'adir-budir devorlar mavjud bo'ladi ($\square < \square$);
- c) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklariga teng bo'lganda g'adir-budir devorlar mavjud bo'ladi ($\square \approx \square$);
- d) To'g'ri javob yo'q.

19. G'adir-budir va silliq quvur tushunchalar qanday xarakterga ega?

- a) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalari doimiy xarakterga ega;
- b) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalari nisbiy xarakterga ega, chunki Reynoldsoning oshishi laminar qatlam qalinligining kamayishiga olib keladi;
- c) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalari o'suvchi xarakterga ega;

- d) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalar kamayuvchi xarakterga ega.

20. Nikuradze va zegjda tajribalari o'rtasidagi tafovutni izohlang.

- a) Nikuradze (λ) ni quvurlar uchun aniqlanishiga doir natijalar olgan, zegjda to'g'ri to'rtbo'rchak shaklli kesimga ega bo'lgan ochiq o'zanlar uchun bu kattalikni aniqlashga doir natijalar olgan;
- b) Har ikkala tadqiqotchi ham gidravlik ishqalanish – darsi koeffitsienti (λ) ning miqdorini aniqlashga doir bir xil tajribalar o'tkazishgan;
- c) Nikuradze (λ) ni silliq quvurlar uchun aniqlanishiga doir natijalar olgan, zegjda g'adir-budir quvurlar uchun bu kattalikni aniqlashga doir natijalar olgan.
- d) Nikuradze (λ) ni laminar tartibdagi harakat uchun aniqlagan, zegjda esa bu kattalikni oqimning turbulent tartibdagi harakati uchun aniqlashga doir natijalar olgan.

21. Magnus effektini izohlang.

- a) Qaralayotgan suyuqlik massasiga taʼsir etuvchi va oqimning bo'ylama harakat tezligi yo'nalishiga parallel yo'nalgan kuch paydo bo'ladi;
- b) Ikki xil hossaga ega suyuqlikning birgalikdagi harakati;
- c) Qaralayotgan harakatdagi suyuqlik zarrachalarining aralashgan harakati;
- d) Ilgarilanma va aylanma harakatlarning qo'shilishi natijasida qaralayotgan suyuqlik massasiga taʼsir etuvchi va oqimning bo'ylama harakat tezligi yo'nalishiga normal yo'nalgan kuch paydo bo'lishi.

VI - bobga doir test-nazorat savollari

1. “Uzun” quvurlar deganda qanday quvurlar tushuniladi?

- a) Suyuklikni ideal deb faraz qilinganda;
- b) Suyuklik laminar tartibda harakatlanganda;
- c) Suyuqlik oqimining turbulent tartibdagi harakatida;
- d) Maxalliy napor yo'qolishlari uzunlik bo'yicha napor yo'qolishining 5 foizdan kam miqdorini tashkil qilganda.

2. “Qisqa” quvurlar deganda qanday quvurlar tushuniladi?

- a) Suyuklikni ideal deb faraz qilinganda;
- b) Maxalliy napor yo'qolishlari uzunlik bo'yicha napor yo'qolishining 5 foizdan ko'p miqdorini tashkil qilganda;
- c) Suyuqlik oqimining turbulent tartibdagi haraatida;

d) Maxalliy napor yo'qolishlari uzunlik bo'yicha napor yo'qolishining 5 foizdan kam miqdorini tashkil qilganda.

3. Sarf moduli qanday parametrlarga bog'liq?

- a) Quvurning uzunligiga, materialiga, diametriga va suyuqlikning harakat tartibiga bog'liq;
- b) Quvurning uzunligiga va diametriga bog'liq;
- c) Quvurning uzunligiga, diametriga va suyuqlikning harakat tartibiga bog'liq;
- d) Quvurning uzunligiga va suyuqlikning harakat tartibiga bog'liq;

4. Sodda quvurlardan oqim suyuqlik ostiga chiqqandagi holat uchun ularning hisoblanish formulasini aniqlang.

$$Q = \mu_T \omega \sqrt{2gZ} ;$$

$$a) \ v = \frac{Q}{\omega_0} ;$$

$$b) \ Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH} ;$$

$$c) \ h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$$

5. Sodda quvurlardan oqim atmosferaga chiqqandagi holat uchun ularning hisoblanish formulasini aniqlang.

$$a) \ Q = \mu_T \omega \sqrt{2gZ} ; \quad b) \ v = \frac{Q}{\omega_0} ;$$

$$c) \ Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH} ; \quad d) \ h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$$

6. Quvurdagi naporni aniqlashda Darsi-Veysbax formulasini aniqlang.

$$a) \ h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{v}{2g} ; \quad b) \ h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{v^2}{2g} ;$$

$$c) \ h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g} ; \quad d) \ h_l = \zeta \frac{v}{2g}$$

7. Napor yo'qolishini aniqlash uchun Veysbax formulasini aniqlang.

$$a) \ h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{v}{2g} ; \quad b) \ h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{v^2}{2g} ;$$

$$c) \ h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g} ; \quad d) \ h_l = \zeta \frac{v}{2g}$$

8. Sodda quvurlardan oqim suyuqlik sathi ostiga chiqqandagi holat uchun sarf koeffitsientining hisoblanish formulasini aniqlang.

$$a) \mu_T = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_l + \sum \zeta_M}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}};$$

$$b) \mu_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}};$$

$$c) Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH};$$

$$d) h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$$

9. Sodda quvurlardan oqim atmosferaga chiqqandagi holat uchun ularning sarf koeffitsientining hisoblanish formulasini aniqlang.

$$a) \mu_T = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_l + \sum \zeta_M}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}};$$

$$b) \mu_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}};$$

$$c) Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH};$$

$$d) h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$$

10. Teshik bilan naycha diametri «d» bir xil bo'lganda sarf qanday qiymatga oshadi?

- a) Teshik sarfi,
- b) naychanikidan 2 marotaba katta;
- c) Teshik sarfi naychanikidan kichik;
- d) Naychadagi sarf 34%ga oshadi.

11. Teshik bilan naycha diametri «d» bir xil bo'lganda tezlik qanday qiymatga oshadi?

- a) Tezlik bil xil;
- b) Teshikdan chiqayotgan oqim tezligi, naychanikidan 2 marotaba katta;
- c) Teshikdanchiqayotgan oqim tezligi naychanikidan kichik;
- d) Naychadan chiqayotgan oqim tezligi 15 %ga oshadi.

12. Qaysi xolatda sarf koeffitsienti tezlik koeffitsientiga teng bo'ladi?

- a) Koriolis koeffitsienti 0 ga teng bo'lsa;
- b) Tezlik koeffitsienti 1 ga teng bo'lsa;
- c) Sarf koeffitsienti 0 ga teng bo'lsa;
- d) Chiqishda vertikal siqilish mavjud bo'lmasa.

13. Qachon sarf koeffitsienti 0,82 ga teng?

- a) Suyuqlik venturi naychasidan oqib chiqayotganda sarf va tezlik koeffitsientlari bir biriga teng bo'lganda;
- b) Suyuqlik tirqishdan oqib chiqsa;
- c) Reynolds soni 2320 dan yuqori bo'lsa;
- d) Maxalliy qarshilik hisobga olinmasa;

14. Torichelli formulasini ko'rsating.

- a) $v_c = \sqrt{2gH}$;
- b) $Q = \omega_c \varphi \sqrt{2gH}$
- c) $Q = \varepsilon \varphi \omega \sqrt{2gH}$
- d) $Q = \mu_0 \omega \sqrt{2gH}$

15. Bord va Venturi naychalari o'rtasidagi farqni ayting.

- a) Hech qanday farq yo'q;
- b) Bord naychasi idishning ichki qismiga o'rnatiladi, Venturi naychasi esa tashqarida joylashgan bo'ladi;
- c) Venturi naychasi idishning ichki qismiga o'rnatiladi, Bord naychasi esa tashqarida joylashgan bo'ladi;
- d) Bord naychasi Venturi naychasiga nisbatan 15% uzunroq bo'ladi.

16. Ingichka devordagi kichik tirqishlardan oqib chikayotgan sarf qaysi formula yordamida hisoblanadi?

- a) $Q = 0,62 \omega \sqrt{2gH}$;
- b) $Q = 0,71 \omega \sqrt{2gH}$;
- c) $Q = 0,65 \omega \sqrt{2gH}$;
- d) $Q = 0,82 \omega \sqrt{2gH}$.

17. Venturi naychasidan oqib chikayotgan sarf qaysi formula yordamida hisoblanadi?

- a) $Q = 0,62 \omega \sqrt{2gH}$;
- b) $Q = 0,71 \omega \sqrt{2gH}$;
- c) $Q = 0,65 \omega \sqrt{2gH}$;
- d) $Q = 0,82 \omega \sqrt{2gH}$.

18. Bord naychasidan oqib chikayotgan sarf qaysi formula yordamida hisoblanadi?

- a) $Q = 0,62 \omega \sqrt{2gH}$;
- b) $Q = 0,71 \omega \sqrt{2gH}$;
- c) $Q = 0,65 \omega \sqrt{2gH}$;
- d) $Q = 0,82 \omega \sqrt{2gH}$.

19. Bord naychasidan oqib chiqaytgan oqimchaning o'rtacha tezligini hisoblash formulasini yozing.

- a) $v_{\text{най}} = 0,82 \sqrt{2gH}$;
- b) $v_{\text{най}} = 0,97 \sqrt{2gH}$;
- c) $v_{\text{най}} = 0,71 \sqrt{2gH}$;
- d) $v_{\text{най}} = 0,99 \sqrt{2gH}$.

20. Venturi naychasidan oqib chiqaytgan oqimchaning o'rtacha tezligini hisoblash formulasini yozing.

- a) $v_{\text{най}} = 0,82 \sqrt{2gH}$;
- b) $v_{\text{най}} = 0,97 \sqrt{2gH}$;
- c) $v_{\text{най}} = 0,71 \sqrt{2gH}$;
- d) $v_{\text{най}} = 0,99 \sqrt{2gH}$.

21. Ingichka devordagi tirqishdan oqib chiqaytgan oqimchaning o'rtacha tezligini hisoblash formulasini yozing.

- a) $v_{\text{най}} = 0,82 \sqrt{2gH}$;
- b) $v_{\text{най}} = 0,97 \sqrt{2gH}$;
- c) $v_{\text{най}} = 0,71 \sqrt{2gH}$;
- d) $v_{\text{най}} = 0,99 \sqrt{2gH}$.

VII-VIII bobga doir test nazorat savollari

1. Real holatdagi suyuqlikning butun oqimi uchun Bernulli tenglamasini inertsiya kuchlarini hisobga olgan holdagi ko'rishini yozing.

$$a) \quad z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2q} \pm \Delta E = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2q} + h'_l + h'_i$$

$$b) \quad z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2q} \pm \Delta E = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2q};$$

$$c) \quad z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_l + h'_i;$$

$$d) \quad z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2q} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2q}.$$

2. Hidravlik zarb nima?

- Chuqurlik keskin oshganda ro'y beradigan jarayon;
- Harakatlanayotgan suyuqlikning ixtiyoriy bir kesimida sarfning keskin o'zgarishi natijasida ro'y beradigan gidravlik jarayon;
- Harakatlanayotgan suyuqlikning barcha kesimlarida tekislikning keskin o'zgarishi natijasida ro'y beradigan gidravlik jarayon;
- Harakatlanayotgan suyuqlikning ixtiyoriy bir kesimida tekislikning keskin o'zgarishi natijasida ro'y beradigan gidravlik jarayon.

3. To'g'ri va qaytgan gidravlik zarblar o'rtasidagi tafovut nimadan iborat?

- a) Yo'nalishlarida; b) To'lqinlar o'lchamlarida;
c) To'lqinlar tezliklarida; d) Xarakteristikalarida.

4. Suyuqlik oqimining siqilmas deb qaralgan holati uchun beqaror naporli harakatni izohlang.

$$a) \frac{\partial v}{\partial z} \neq 0;$$

$$b) \frac{\partial v}{\partial z} = 0;$$

$$c) \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0;$$

$$d) \frac{\partial v}{\partial z} = 0; \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0;$$

5. Suyuqlik oqimining siqiluvchan deb qaralgan holati uchun beqaror naporli harakatni izohlang.

$$a) \quad \frac{\partial v}{\partial z} \neq 0;$$

- b) $\frac{\partial v}{\partial z} = 0;$
- c) $\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0;$
- d) $\frac{\partial v}{\partial z} = 0; \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0;$

6. Suyuqlik oqimining tinch (sokin) va notinch (shovqinli) harakatlariga aniqlashtirilgan ta'rif bering.

- a) Cuyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab tarqalmaydi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat yuqoriga tarqaladi;
- b) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab yuqoriga va pastga tarqaladi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat pastga tarqaladi;
- c) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda oqim bo'ylab tezlikning tebranishi paydo bo'ladi. Shovqinli harakatda esa bu tebranish tez tarqaladi;
- d) Sokin harakatda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab pastga tarqaladi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab goh yuqoriga, goh pastga tarqaladi.

GLOSSARIY

Arhimed qonuni. Suyuqlikka botirilgan jismga, suyuqlikning jism hajmidagi og'irlik kuchiga teng bo'lgan, vertikal yuqoriga yo'nalgan kuch ta'sir etadi. Bu holat Arhimed qonuni deb ataladi.

Anomal suyuqliklar. Nyutonning asosiy ichki ishqalanish qonunlariga bo'yinsunmaydigan suyuqliklarga nonyuton yoki anomal suyuqliklar deyiladi.

Barqaror (statsionar) harakat deb, shunday harakatga aytiladiki, bunda suyuqlik harakatlanayotgan oblastning har qaysi nuqtalarida mahalliy tezliklar vaqt bo'yicha o'zgarmaydi.

Bingamo suyuqliklari. Qovushoq-plastik suyuqlikning xossasini ifodalaydi bog'lanishni amerikalik olim Bingamo o'rnatgan, shuning uchun bunday suyuqliklarni bingamo suyuqliklari deyiladi.

Bir o'lchamli harakat deb, tezliklari faqat bir koordinataga bog'liq bo'lgan harakatga aytiladi. Bunday harakat bilan bog'liq gidravlik masalalar yechimida faqat bo'ylama koordinatalariga bog'liq o'rtacha tezliklardan foydalaniladi.

Ideal suyuqlik - bu suyuqlik modeli, ya'ni tabiatda va texnikada uchramaydigan ideallashtirilgan muhit. Biroq bu ideallashtirilgan muhit dinamika qonunlarini o'rganishda katta ahamiyat kasb etadi. Ideal suyuqliklar harakatida ichki ishqalanish kuchlari sodir bo'lmaydi, demak, oqimda urinma kuchlanishlar bo'lmaydi.

Bernulli tenglamasi amaliy va nazariy jixatdan katta ahamiyatga ega bo'lib, u bosim bilan tezlikning bog'lanishini ifodalaydi. Har xil kesimlardagi z otmetkalarining o'zgarmasligi natijasida Bernulli tenglamasidan harakatlanayotgan suyuqlikning kerakli xossasi kelib chiqadi: tezlik oshishi bilan bosim kamayadi, tezlik kamayishi bilan esa bosim ortadi.

Bosim markazi. Hidrostatik bosim kuchning tekis devorni kesib o'tgan nuqtasiga, bosim markazi deyiladi.

Dinamik qovushoqlik - tezlik gradienti birga teng bo'lganda suyuqlik qatlamlari tekkan birlik yuzasiga to'g'ri keluvchi ishqalanish kuchi.

Gidravlik zarba - qisuvli quvuro'tkazgichda oqayotgan suyuqlik tezligining tez (bir onda) o'zgarishi natijasida (mas, zulfin tez yopilganda) suyuqlikda bosimning keskin ortishi.

Gidravlik radius deb, oqim jonli kesimi yuzasining ho'llangan perimetri nisbatiga aytiladi

Gidrostatika – gidravlikaning bo'limi bo'lib, suyuqlik muvozanatining qonunlarini o'rganadi. Bu qonunlarni ko'rib chiqishdan oldin, tinch holatda bo'lgan suyuqlik hajmiga ta'sir qiluvchi kuchlarni qaraymiz.

Gidrostatik paradoks. Idish shakllaridan qat'iy nazar p_o bosimlar, ρ zichliklar, ω yuzalar va chuqurliklar teng bo'lsa, unda gorizontall tublardagi bosim kuchlari bir xil bo'ladi. Bu Gidrostatik paradoks deyiladi

Fazoviy harakatda kinematik xarakteristikalarini uch x, y va z koordinatalarga bog'liq.

Ho'llangan perimetr deb, kanal yoki quvur qattiq devorlariga, suyuqlik tekkan oqim jonli kesimining uzunligiga aytiladi.

Ideal suyuqlik - bu suyuqlik modeli, ya'ni tabiatda va texnikada uchramaydigan ideallashtirilgan muhit. Biroq bu ideallashtirilgan muhit dinamika qonunlarini o'rganishda katta ahamiyat kasb etadi.

Jonli kesim. Elementar oqim naychalarining ko'ndalang kesimlari oqim jonli kesimini tashkil etadilar. Oqim ko'ndalang kesimi yuzasining hamma nuqtalarida, shu yuzani kesib o'tadigan oqim chiziqlari normal yo'nalgan bo'lsa, bunday ko'ndalang kesim yuzasiga ω jonli kesim deyiladi.

Jonli kesimning v o'rtacha tezligi deb, jonli kesim hamma nuqtalari uchun bir xil bo'lgan faraz qilinadigan tezlikka aytiladi.

Kinematik qovushoqlik - suyuqlik dinamik qovushoqligining zichligi nisbatiga teng.

Laminar (qatlamli) harakat alohida zarrachalarning aralashmasdan, tezlik va bosimlarning pulsatsiyasiz tartibli harakatini ifodalaydi.

Massali (yoki hajmiy) kuchlar - bu kuchlar ajratib olingan suyuqlik hajmi massasiga proporsional (yoki o'zgarmas zichlik muhitida hajmga proporsional) va shu hajm muhitining hamma nuqtalarida ta'sir qiladi.

Mahalliy napor yo'nalishi Veysbax formulasidan hisoblanadi.

Murakkab'tkazgich quvurlar - Tarqatuvchi va halqaisimon o'tkazgich quvurlar.

Naporli oqimlar - hamma tomonidan qattiq devor bilan chegaralangan bo'ladi. Bunday oqimga suyuqlik harakati qandaydir tashqi manba (naporli rezervuar, nasos va boshqa) bilan tutashgan bosim ta'sirida sodir bo'ladi.

Naporsiz oqimlar - qisman qattiq va qisman erkin sirt bilan chegaralangan. Bularda suyuqlik harakati faqatgina og'irlik kuchi ta'siri ostida sodir bo'ladi.

Nasos - tashqaridan uzatilgan energiyani suyuqlik oqimining bosim energiyasiga aylantirib beruvchi gidravlik mashina.

Nasosning bosimi. Nasosning uzatgich va so'rg'ich qismlaridagi solishtirma energiyalar ayirmasiga nasosning bosimi deyiladi.

Nobarqaror (nostatsionar) harakat deb, shunday harakatga aytiladiki, bunda suyuqlik harakatlanayotgan oblast nuqtalarida mahalliy tezliklar vaqtga bog'liq holda o'zgaradi.

Notekis harakat - shu bilan tavsif qilinadiki, bunda oqim chiziqlari to'g'ri chiziqli va parallel bo'lmaydi. Jonli kesim va o'rtacha tezlik oqim uzunligi bo'yicha o'zgaruvchan bo'lishlari mumkin. Notekis harakat tezlashgan va sekinlashgan bo'lishi mumkin.

Nonyuton qovushqoq – plastik suyuqliklar o'zlariga nyuton suyuqliklar qovushqoqligini va qattiq plastik jism xossalarini mujassam etadilar.

Oddiy o'tkazgich quvur. Oddiy o'tkazgich quvur deb, bir xil diametr va bir xil materialdan ishlangan, hamda tarmoqlanmagan o'tkazgich quvurga aytiladi.

Oqim. Harakatlanayotgan suyuqlik oblasti chegaraviy ohirgi o'lchamlarga ega bo'ladi va u oqim deyiladi. Oqim uzluksiz elementar oqim naychalarining yig'indisidan tashkil topadi. Bunday modelni suyuqlik oqimining naychali oqim modeli deyiladi.

Oddiy o'tkazgich quvur deb, bir xil diametr va bir xil materialdan ishlangan, hamda tarmoqlanmagan o'tkazgich quvurga aytiladi.

Paskal qonuni. Hidrostatikaning $p = p_0 + \rho gh$ asosiy tenglamasidan ko'ramizki, tinch holatda bo'lgan suyuqlikning p_0 sirtidagi bosim shu idish ichidagi suyuqlikning istalgan nuqtasiga o'zgarishsiz ta'sir qiladi.

Ravon o'zgaruvchan harakat. Suyuqlik harakatida oqim chiziqlari to'g'ri chiziqli va egri chiziqli, shuningdek, o'zaro parallel va parallel bo'lmagan bo'lishlari mumkin. Bu holatlar jonli kesimdagi bosim taqsimlanishi xususiyatlariga ta'sir etadilar va Bernulli tenglamasini qo'llanishiga aniq cheklanishlarni kiritadilar. Bunga bog'liq holda gidravlikada oqim naycha chiziqlar, og'irligi juda kam bo'lgan va parallel yoki deyarli parallel bo'lgan oqim chizig'iga ega ravon o'zgaruvchan harakat tushunchasi kiritiladi.

Real suyuqlik harakatida, normal kuchlanishlardan tashqari yana urinma kuchlanishlar ham sodir bo'ladi. Real suyuqlik o'zining qatlamlari nisbiy siljishiga va zarrachalariga qarshilik ko'rsatish xususiyatiga ega bo'ladi.

Reynolds kritik soni qiymati quvur kiritishidagi sharoitlariga, uning devori g'adir-budirligiga, suyuqlilardagi boshlang'ich ta'sirlanishlarga yoki ularning bo'lmasligiga, konveksion oqimlarga va boshqalarga bog'liq.

Sarf. Birlik vaqt ichida oqim jonli kesimidan o'tadigan suyuqlikning hajmiy miqdoriga qaraladigan kesimning oqim sarfi deyiladi.

Sifon - bu tirsaklari har-xil uzunlikdagi burilgan quvur bolib, suyuqlik bu quvur orqali yuqori sathdagi rezervdan pastki sathdagi rezervga oqib tushadi.

Sirtqi kuchlar - Bu kuchlar ajratib olingan suyuqlik hajmining tashqi sirtlariga ta'sir qiladi va shu sirtlar yuzalariga proporsional. Sirtqi kuchlarga suyuqlikning erkin sirtidagi atmosfera bosimi, suyuqlikdagi idish devori bosimi, suyuqlikdagi porshen bosimi va h.k. Sirtqi kuchlar ajratilgan suyuqlik hajmining sirti bo'yicha uzluksiz taqsimlangan.

Suyuqlik - bu oquvchanlikka ega bo'lgan jism. Tomchili suyuqlik va gazlar oquvchanligi bilan xarakterlanadi. Moddalar holati, uning atom-molekulyar tuzilishi bilan aniqlanadi.

Suyuqlik kinematikasi - gidromexanikaning bo'limi bo'lib, bunda suyuqlik harakatining turlari va kinematik xarakteristikalarini o'rganilib, harakatni sodir etuvchi kuchlar qaralmaydi.

Suyuqlikning nisbiy muvozanati - uning harakatida zarrachalarining yon tomonidagi zarrachalar bilan aralashishi sodir bo'lmaydi va suyuqlikning hamma massasining qattiq jism kabi harakatlanishiga aytiladi.

Suzayotgan jismning mustahkam muvozanati deb, jismning tinch holatdan chiqishiga va qandaydir yotiq holatga olib kelgan kuch ta'siridan keyin, uning boshlang'ich holatiga qaytishiga aytiladi.

Tekis harakat - oqim chiziqlarining to'g'ri chiziqligi va parallelligi bilan tavsiflanadi.

Tekis (ikki o'lchamli) harakatda kinematik xarakteristikalar faqat ikki koordinataga bog'liq bo'lib, uchinchi koordinataga bog'liq bo'lmaydilar

Teng bosimli sirt - sirtning hamma nuqtalarida bosim bir xil bo'lsa, bunday sirtlarni teng bosimli sirt deyiladi.

Tutash idishlar - pastki tomonlari o'zaro birlashgan idishlar. Idishlarning qanday shakldaligidan qat'i nazar ular bir xil suyuqlik bilan to'ldirilsa, ikkala idishda ham suyuqlik sathi birday bo'ladi. Agar idishlar har xil suyuqliklarga bilan to'ldirilsa, zichliklari turlicha bo'lganligi uchun ularning sathi har xil balandlikda joylashadi, chunki balandlik zichlikka teskari mutanosib. Agar tutash idishlarning bir tirsagi berk bo'lsa, suyuqliklar satxlari orasidagi farq o'sha berk tirsakdagi bosimga bog'liq bo'ladi. Manometrlar, bug' qozonlarining suv o'lchash asboblari, suyuqliklarning zichligini o'lchash asboblari va boshqa asboblarda qo'llanadi.

Trayektoriya. Suyuqlik zarrachasining vaqtga bog'liq holda bosib o'tgan yo'li, uning trayektoriyasi deyiladi.

Turbulent (tartibsiz) harakat suyuqlik zarrachalarining intensiv aralashishini (xaotik) hamda tezlik va bosimlarning pulsatsiyalarini xarakterlaydi.

Uzunlik bo'yicha napor yo'nalishi Darsi-Veysbax formulasidan hisoblanadi.

Uzun o'tkazgich quvurlar hisobida h_t uzunlik bo'yicha yo'qolgan bosim topiladi, keyin esa h_t topilgan qiymatni 5...10 % ga ko'paytirib, mahalliy napor yo'qolishi yig'indisi hisoblanadi.

Vakuum - agar nuqtada absolyut bosim atmosfera bosimidan kichik bo'lsa, unda absolyut bosimning atmosfera bosimigacha yetmasligi vakuum deyiladi

Venturi sarf o'lchagich uzatkich quvurlarda suyuqlikning oqib o'tadigan sarfini o'lchash uchun o'rnatiladi

Yo'qolgan napor. Oqimda ikkala ko'rinishdagi napor (mahalliy, uzunlik boyicha) yo'qolishlari hosil bo'ladi va umumiy yo'qolgan naporni topish uchun ularning qiymatlarini qo'shish kerak.

Yaxlit uzluksiz muhit - suyuqlikning modeli bo'lib, uning tinch holati va harakatini o'rganishda foydalaniladi: yaxlit uzluksiz muhit deb faraz qilish, suyuqlik harakatini tavsiflovchi hamma parametrlarini koordinata va vaqtning uzluksiz va differensiallanadigan funksiyalari deb hisoblash mumkinligini ko'rsatadi.

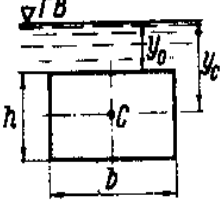
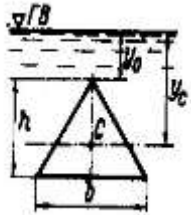
Qovushoqlik - suyuqlikning qatlamlar nisbiy siljishiga qarshilik ko'rsatish xossasi.

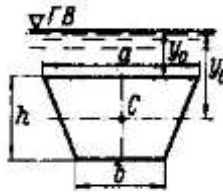
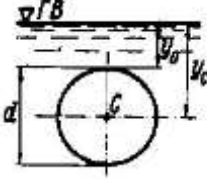
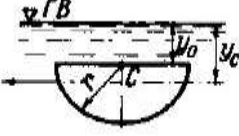
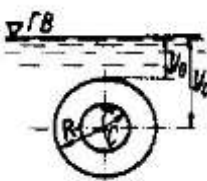
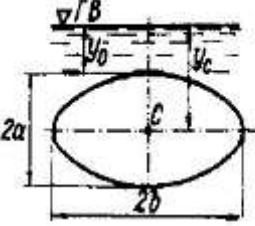
ILOVALAR

Grek alifbosi

N _o	NOMLARI	NOMLARI
1	α - alfa	θ - tetta
2	β - betta	$\aleph$ - kappa
3	γ - gamma	λ - lambda
4	δ - delta	μ - my (mi)
5	ε - epsilon	η - nyu (ni)
6	ζ - zetta	ξ - ksi
7	η - etta	π - pi
8		
9	ρ - ro	Γ - gamma
10	σ - sigma	Δ - delta
11	τ - tau	Θ - tetta
12	φ - fi	Λ - lambda
13	χ - xi	Σ - sigma
14	ψ - psi	Φ - fi
15	ω - omega	Ψ - psi
16	Ω - omega	

I_C Inertiya momenti (shaklning S og'irlik markazidan o'tuvchi gorizontal o'qqa nisbatan), bunda, y_C - og'irlik markaz koordinatasi, ω tekis shakllar yuzasi.

Shakllar ko'rinishi, belgilanishlar	I_C	y_C	ω
	$\frac{bh^2}{12}$	$y_0 + \frac{h}{2}$	bh
	$\frac{bh^3}{36}$	$y_0 + \frac{2}{3}h$	$\frac{bh}{2}$

	$\frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a + b)}$	$y_0 + \frac{h(a + 2b)}{3(a + b)}$	$\frac{h(a + b)}{2}$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$y_0 + \frac{d}{2}$	$\frac{\pi d^2}{4}$
	$\frac{9\pi^2 - 64}{72\pi}$	$y_0 + \frac{4r}{3\pi}$	$\frac{\pi r^2}{2}$
	$\frac{\pi(R^2 - r^4)}{4}$	$y_0 + R$	$\pi(R^2 - r^2)$
	$\frac{\pi a^3 b}{4}$	$y_0 + a$	πab

I jadval

Suvning kinematik yopishqoqlik koeffitsienti, haroratga bog'liq xolda ν , cm^2 / sek

t^0	ν , cm^2 / sek	t^0	ν , cm^2 / sek	t^0	ν , cm^2 / sek
1	0,017321	11	0,012740	22	0,009892
2	0,016740	12	0,012396	24	0,009186
3	0,016193	13	0,012067	26	0,008774
4	0,015676	14	0,011756	28	0,008394
5	0,015188	15	0,011463	30	0,008032
6	0,014726	16	0,011177	35	0,007251
7	0,014289	17	0,010888	40	0,006587
8	0,013873	18	0,010617	45	0,006029
9	0,013479	19	0,010356	50	0,005558
10	0,013101	20	0,010105	55	0,005147

				60	0,004779
--	--	--	--	----	----------

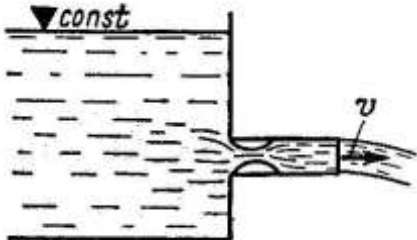
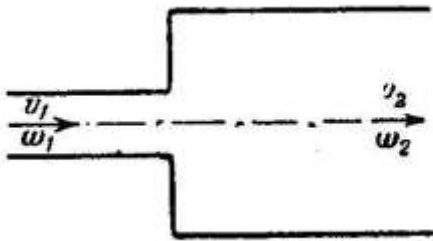
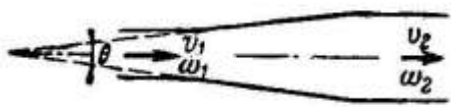
II jadval

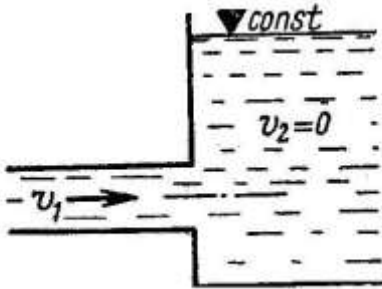
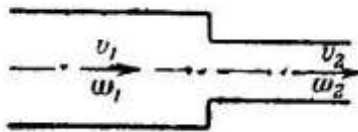
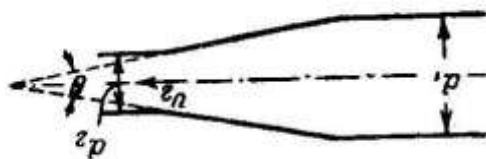
g'adir-budirlik koeffitsientining qiymati (n)

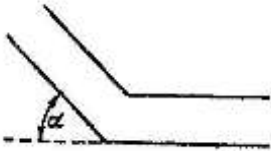
Daraja	Devorlar turi	n	$1/n$
I	O'ta silliq sirtlar; emal bilan qoplangan sirtlar	0,009	111
II	Yaxshi o'rnatilgan, o'ta o'tkir taxta. Toza sementdan yaxshi suvoq	0,010	100
III	Yaxshi sementli suvoq (1/3 qumdan). Yaxshi yotqizilgan yoki ulangan yangi sopol, cho'yan va temir quvurlar. Qirrali taxta	0,011	90,9
IV	Yaxshi o'rnatilgan qirrasiz taxta. O'rtacha sharoitdagi suv o'tkazgich quvur juda yaxshi betonlangan; Sezilarsiz inkrustatsiyalangan, juda toza suv oquvchi quvurlar, juda yaxshi betonlangan	0,012	83,3
V	Yaxshi g'ishtli, yaxshi sharoitdagi yupqa taxtali terish. O'rta sharoitdagi tarnov quvurlar, bir necha ifloslangan suv o'tkazgich quvurlar	0,013	76,9
VI	Ifloslangan quvurlar (suv o'tkazgich va tarnovli) o'rta sharoitda betonlangan quvurlar	0,014	71,4
VII	O'rtacha g'ishtli terish, o'rta sharoitdagi yupqa toshdan qoplash. Sezilarli ifloslangan tarnovlar. Yog'och reyklar bo'yicha brezent	0,015	66,7
VIII	Yaxshi toshdevor, eski (harob)g'ishtterish; nisbatan qo'polbetonlangan. Judasilliq judayaxshiishlovberilgan qoyatosh	0,017	58,8
IX	Qalin mustaxkam gil qavat bilan qoplangan kanallar, zich sog' tuproqli kanallar va zich mayda shag'alli, gil bilan qoplangan.	0,018	55,6
X	O'rtacha (qoniqarli)toshdevor. Toshyotqizilganyo'l. Qoyada juda toza yuvilgan kanallar. Gil qoplangan zich yerdagi, zich shag'alli, toshli kanallar (o'rtacha xolda)	0,020	50,0
XI	Zichloylikanallar. Birtekisbo'lmagan (uzlukli) gilqoplanganerda, shag'al, toshlikanallar. O'rtadan	0,0225	44,4

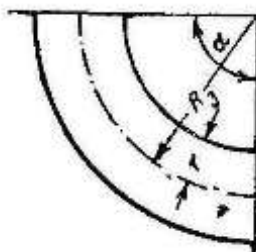
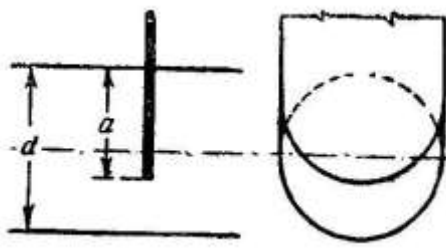
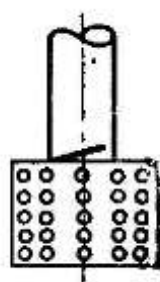
Daraja	Devorlar turi	<i>n</i>	1/ <i>n</i>
	yuqori sharoitda taʼmirli va saqlangan, katta tuproq kanallar		
XII	Yaxshiquruqterish. Yaxshidankamroq oʻrtachasharoitdasaqlanganvare montlikattatuproqkanallar. Judayaxshisharoitdagidaryolar (chuquryuvilishlarsizvaoʻyilishsiz, erkinoqimlitozatoʻgʻrioʻzan)	0,025	40,0
XIII	Taʼmirvasaqlashsharoitioʻrtameʼyordanpast – katta; oʻrtasharoitda – kichiktuproqkanallar	0,0275	36,4
XIV	Nisbatanyomonsharoitdagituproq kanallar; sezilarli oʻtlar oʻsgan; mahalliy oʻyilgan chuqurchalar	0,030	33,3
XV	Judayomonsharoitdagikanallar. Nisbatanyaxshisharoitdagidaryolar, lekinbaʼzimikdordatoshvasuvoʻtlariBilan	0,035	28,6
XVI	Sezilarliyomonsharoitdagikanallar (oʻzanboʻylaboʻpirilganvayuvilgan; kamishlaroʻsgan quyuq ildizlar; yiriktoshlarvax.) bora-boradaryooqimisharoitiyomonlashadi (boshqapunktlarganisbatan)	0,040 Va koʻp	25 Va kam kam

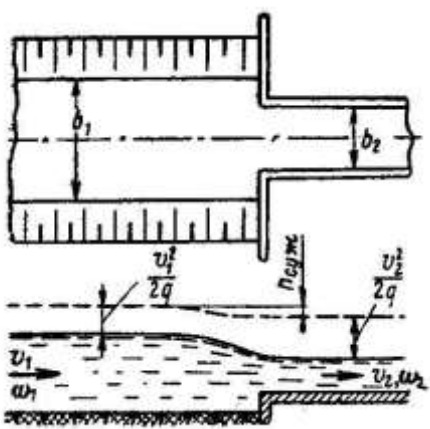
Mahalliy qarshiliklar

Qarshiliklar sxemasi	Yo'qolishlar koeffitsienti										
Quvurga kirish $h_{max} = \zeta_{kup} \frac{v^2}{2g}$ 	O'tkir qirrali bo'lganda $\zeta_{kup} = 0,50$ erkin kirish va aylanali kirishda $\zeta_{kup} = 0,20$ o'ta erkin kirishda $\zeta_{kup} = 0,05$										
Keskin kengayish $h_{k.k} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \zeta_{k.k} \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_{k.k} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$										
Konik diffuzor $h_o = \zeta_o \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_o = k_o \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$ bunda, k_o – keskin kengayishdagi diffuzorda yo'qolishdan yo'qolishlar kismini ifodalovchi, o'lchamsiz koeffitsient <table><tr><td>7,5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>30</td></tr><tr><td>0,14</td><td>0,16</td><td>0,27</td><td>0,43</td><td>0,81</td></tr></table>	7,5	10	15	20	30	0,14	0,16	0,27	0,43	0,81
7,5	10	15	20	30							
0,14	0,16	0,27	0,43	0,81							

Qarshiliklar sxemasi	Yo'qolishlar koeffitsienti																																			
Quvurdan chiqish: katta o'lchamdagi idishga, daryo $h_{\text{чик}} = \zeta_{\text{чик}} \frac{v_1^2}{2g}$ 	$\zeta_{\text{чик}} = 1,0$																																			
Keskin torayish $h_{\kappa.m} = \zeta_{\kappa.m} = \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_{\kappa.m} = f\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$																																			
	ω_2 / ω_1	0,0 1	0,1 0	0,2 0	0,4 0	0,6 0	0,80																													
	$\zeta_{\kappa.m}$	0,5 0	0,4 5	0,4 0	0,3 0	0,2 0	0,10																													
Konik diffuzor $h_{\text{кон}} = \zeta_{\text{кон}} \frac{v_2^2}{2g}$ 	<table><tr><th rowspan="2">d_1 / d_2</th><th colspan="5">Burchak</th></tr><tr><th>θ</th><th>10</th><th>20</th><th>30</th><th>40</th></tr><tr><td>$d_1 / d_2 = 1,2$ учун</td><td>$\zeta_{\text{кон}}^*$</td><td>0,0 4</td><td>0,05</td><td>0,07</td><td>0,08</td></tr><tr><td>$d_1 / d_2 = 2$ учун</td><td>$\zeta_{\text{кон}}$</td><td>0,0 7</td><td>0,09</td><td>0,12</td><td>0,14</td></tr><tr><td>$d_1 / d_2 = 3$ учун</td><td>$\zeta_{\text{кон}}$</td><td>0,08</td><td>0,10</td><td>0,14</td><td>0,17</td></tr></table>							d_1 / d_2	Burchak					θ	10	20	30	40	$d_1 / d_2 = 1,2$ учун	$\zeta_{\text{кон}}^*$	0,0 4	0,05	0,07	0,08	$d_1 / d_2 = 2$ учун	$\zeta_{\text{кон}}$	0,0 7	0,09	0,12	0,14	$d_1 / d_2 = 3$ учун	$\zeta_{\text{кон}}$	0,08	0,10	0,14	0,17
d_1 / d_2	Burchak																																			
	θ	10	20	30	40																															
$d_1 / d_2 = 1,2$ учун	$\zeta_{\text{кон}}^*$	0,0 4	0,05	0,07	0,08																															
$d_1 / d_2 = 2$ учун	$\zeta_{\text{кон}}$	0,0 7	0,09	0,12	0,14																															
$d_1 / d_2 = 3$ учун	$\zeta_{\text{кон}}$	0,08	0,10	0,14	0,17																															
Quvur burilishi (tirsak) a) aylanasiz tirsak $h_{\text{кол}} = \zeta_{\text{кол}} \frac{v^2}{2g}$	<table><tr><th>α^0</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th></tr><tr><td>Burchak</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>$\zeta_{\text{кол}}$</td><td>0,2</td><td>0,3</td><td>0,4</td><td>0,5 5</td><td>0,7 5</td><td>0,9</td><td>1,1 0</td></tr></table>							α^0	3	4	5	6	7	8	9	Burchak	0	0	0	0	0	0	0	$\zeta_{\text{кол}}$	0,2	0,3	0,4	0,5 5	0,7 5	0,9	1,1 0					
α^0	3	4	5	6	7	8	9																													
Burchak	0	0	0	0	0	0	0																													
$\zeta_{\text{кол}}$	0,2	0,3	0,4	0,5 5	0,7 5	0,9	1,1 0																													

Qarshiliklar sxemasi	Yo'qolishlar koeffitsienti
 A schematic diagram of a pipe bend. It shows a horizontal pipe segment on the left, which turns upwards and then continues horizontally to the right. The angle of the bend is labeled with the Greek letter alpha (α).	$d < 50_{MM}$ li quvurlar bilan tajriba asosida olingan $\zeta_{KO.I}$ qiymati. Diametr oshganda $\zeta_{KO.I}$ qiymat kamayadi

Qarshiliklar sxemasi	Yo'qolishlar koeffitsienti					
b) aylanali tirsak $h_{a\ddot{u}l} = \zeta_{a\ddot{u}l} \frac{v^2}{2g}$ 	$\alpha = 90^0$ bo'lganda					
	$r / R_{л.б}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294
	$r / R_{л.б}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,440	0,661	0,997	1,408	1,978
	$\alpha \neq 90$ burchak bo'lganda $\zeta_{a\ddot{u}l}$ qiymatini $\alpha / 90$ nisbatga ko'paytirish kerak					
Kran 	a / d	To'la ochilgan	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,12	0,26	0,81	0,26	
	a / d	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$		
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	5,25	17,0	978		
Kran 						
	α^0	5	10	20	30	
	$\zeta_{кр}$	0,05	0,29	1,56	5,47	
	α^0	40	50	60		
	$\zeta_{кр}$	17,3	52,6	206		
Setkali qaytma klapan 	$\zeta_{cem} = 10$ Qaytma klapan bo'lmagan xolda $\zeta_{cem} = 5 \div 6$					

O'tish uchastkasi bo'lmaganda kanalning keskin torayishi 							
	ω_2 / ω_1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	ζ_{cyc}^*	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$h_{cyc} = \zeta_{cyc} \frac{v_2^2}{2g}$		ω_2 – qarshilikdan keyin kanalning tirik kesim yuzasi; $\omega_1 - \omega_2$ – qarshilikkacha kanalning tirik kesim yuzasi;					

IV jadval

Suv o'tkazgich quvurlarda tavsiya etilgan solishtirma sarflar va tezliklar

Ko'rsatkichlar	Diametr d, mm								
	50	75	100	125	150	200	250	300	350
Tavsiya etilgan solishtirma tezlik, m/s	0,75	0,75	0,76	0,82	0,85	0,95	1,02	1,05	1,10
Tavsiya etilgan chegaraviy sarf, l/s	1,5	3,3	6	10	15	30	50	74	106

IV jadval davomi

Ko'rsatkichlar	Diametr d, mm								
	400	450	500	600	700	800	900	1000	1100
Tavsiya etilgan solishtirma tezlik, m/s	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,53	1,55

Tavsiya etilgan chegaraviy sarf, l/s	145	190	245	365	520	705	920	1200	1475
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1.	A. Arifjanov, Q. Rahimov, A. Xodjiev «Gidravlika» - Toshkent, 2016y.
2.	K.Sh.Latipov, A.Arifjanov, X.Kadirov, B.Toshov «Gidravlika va gidravlik mashinalar», Navoiy. Alisher Navoiy, 2014 y.
3.	A.Arifjanov, P.N.Gurina. Gidravlika. -Tashkent. TIMI, 2011g.
4.	Bashta T. M., Rudnev S. S, Nekrasov B. I. va boshqalar, Gidravlika i gidravlicheskiye mashini M., "Mashinostroyeniye" 1980 g.1.
5.	Melvyn Kay, Practical Hydraulics (Taylor & Francis 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN) 2008.-253 pages
6.	John Fenton A First Course in Hydraulics (Vienna University of Technology, Austria), 2012. -120 pages
7.	Latipov Q.SH. Gidravlika , gidromashinalar va gidroyuritmalar.- Toshkent: O'qituvchi, 1992 y.
8.	Shtrenlixt D.V. Gidravlika. M., Energoatomizdat, 1992 g.
9.	Kiselev P. G. Gidravlika osnovi mexaniki jidkosti. M., Energiya 1980 g.
10.	Osipov P. Ye. Gidravlika i gidravlicheskiye mashini, M., "Lesnaya promishlennost, 1965 g.
11.	Uginshus A. A. Gidravlika i gidravlicheskiye mashini, Xarkov, izd. Xarkovskogo Gosuniversiteta im. A. M. Gorkogo 1966g
12.	Kostyushenko E.V.,Laptyev V.I., Xolodok L.A. Praktikum po gidravlike I gidromxanizatsii selskoxozyaystvennix protsessov.- Minsk urojay, 1991g.
13.	Yufin A. P. Gidravlika, gidravlicheskiye mashini i gidroprivodi M., "Visshaya Shkola", 197 1965g
14.	A.Arifjanov, I.Axmedxodjayeva, A.Fatxullayev. Suv resurslari.TIMI, 2008y.
15.	Nekrasov B.B. Zadachnik po gidravlike, gidromashinam i gidroprivodu-M „Visshaya shkola“. 1995g.
16.	Yesman I. G. Nasosi. Izd. Neftyanoy i Gorno-toplivnoy literaturi. M., 1954 g.

17.	Tumarkin M. B. Gidravlicheskiye sledyashie privodi M., "Mashinostroyeniye", 1966 g.
18.	Krivshyenko G.I., Gidravlicheskiye mashini, M., Energiya 1978 g.
19.	Prokofyev V.N., Danilov Yu.A., Kondakov L.A., Luganskiy A. S., Syelin Yu. A. Aksialno-porshnevoy reguliruyemiy privod, M., "Mashinostroenie" M., 1969 g.
20.	Geyyer V. G., Dumin V. S, Borsmenskiy A. G., Zorya A. N. Gidravlika gidroprivod "Nedra" M., 1970 g.
21.	K.Sh. Latipov - Suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchlanishi haqida UzSSR FA Axborotlari, texnika fanlari seriyasi, 1980 y. № 6. 43-47- bet.
22.	K.Sh. Latipov - Gidravlik qarshilik koefitsiyentini aniqlashga doir. UzSSR FA Doklidlari 1982 y. № 8; 16-19-bet.
23.	Norkin P. K., Latipov K. Sh. Gidrodinamicheskiye peredachi i ob'yemniy gidroprivod (konspekt lektsiy) Izd-vo TashPI Tashkent - 1980 y.
24.	www.gidravlika-obi-life.zn.uz

MUNDARIJA

	KIRISH	5
	I b o b. Suyuqliklar kinematikasi va dinamikasi asoslari. Suyuqliklarda harakat turlari.	13
1.1-§.	Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari	13
1.2-§.	Oqimchali harakat haqida asosiy tushunchalar. Oqim chizig`i, oqim naychasi va oqimcha. Suyuqlik oqimlari.	15
1.3-§.	Oqimning asosiy gidravlik elementlari	16
1.4-§.	Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi	20
1.5-§.	Ideal suyuqliklar uchun harakat tenglamasi. Suyuqlik harakati uchun Eyler tenglamasi	22
1.6-§.	Real suyuqliklarda ichki kuchlar. Nave-Stoks tenglamasi	24
1.7-§.	Elementar oqimcha uchun Bernuli tenglamasi	28
1.8-§.	Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari	33
1.9-§.	Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi	37
1.10-§.	Real suyuqliklar oqimi uchun Bernulli tenglamasi. Koriolis koeffitsiyenti	39
1.11-§.	Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi	40
1.12-§.	Gidravlik va pezometrik qiyaliklar haqida tushuncha	42
1.13-§.	Gidravlik yo`qotish haqida tushuncha. Gidravlik yo`qotishning turlari	43
1.14-§.	Tezlik va sarf o`lchash usullari hamda asboblari	44
	II bob. Suyuqlik harakatining tartiblari va gidrodinamik o`xshashlik asoslari	51
2.1-§.	Suyuqlik harakatining ikki tartibi. Reynolds kritik soni	51
2.2-§.	Gidrodinamik o`xshashlik asoslari. Gidrodinamik hodisalarni modellash	55
	III b o b. Suyuqliklarning laminar harakati	60
3.1-§.	Tezlikning silindrik quvur kesimi bo`yicha taqsimlanishi	60
3.2-§.	Quvur uzunligi bo`yicha bosimning pasayishi (Puazeyl formulasi)	62
3.3-§.	Oqimning boshlang`ich bo`lagi	63
3.4-§.	Tekis va xalqasimon tirqishlarda suyuqlikning laminar harakati	65
3.5-§.	Laminar oqimning maxsus turlari (o`zgaruvchan, qovushqoqlik, obliteratsiya)	70
	IV b o b. Suyuqliklarning turbulent harakati	74
4.1-§.	Suyuqlik turbulent harakatining xususiyatlari	74
4.2-§.	Tezlik va bosim pulsatsiyalari	75
4.3-§.	Tenglashtirilgan tezliklarning kesim bo`yicha taqsimlanishi	77

4.4-§.	Turbulent harakatda urinma zo`riqish	79
4.5-§.	Quvurlarda bosimning kamayishi	83
4.6-§.	Darsi formulasi va uzunlik bo`yicha ishqalanishga yo`qotish koefitsiyenti (Darsi koefitsiyenti)	84
4.7-§.	Quvur devorining g`adir-budirliqi. Absolyut va nisbiy g`adir-budirlik	85
4.8-§.	Nikuradze va Murin grafiklari	87
4.9-§.	Gidravlik silliq va g`adir-budir quvurlar	89
4.10-§.	Darsi koefitsiyentini aniqlash uchun formulalar va ularning qo`llanish sohalari	90
4.11-§.	Nosilindrik quvurlardagi harakatlar	93
	V bob. Mahalliy gidravlik qarshiliklar	96
5.1-§.	Mahalliy qarshilikning asosiy turlari. Mahalliy qarshilik koefitsiyenti	96
5.2-§.	Reynolds sonining katta qiymatlari uchun mahalliy qarshilik koefitsiyentlari	100
5.3- §.	Quvurning keskin kengayishi (Bord teoremasi)	100
5.4-§.	Diffuzorlar	102
5.5-§.	Quvurlarning torayishi	105
5.6-§.	Tirsaklar	106
5.7-§.	Reynolds sonining kichik qiymatlarida mahalliy qarshilik koefitsiyenti	107
5.8-§.	Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitatsiya hodisasi	109
5.9-§.	Kavitatsiyadan amalda foydalanish	109
5.10-§.	Mahalliy qarshiliklarning o`zaro ta'siri	110
	VI b o b. Suyuqliklarning teshik va naychalardan oqishi	115
6.1-§.	Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o`zgarmas bosimda oqishi	115
6.2-§.	Siqilish, tezlik va sarf koefitsiyentlari	117
6.3-§.	Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi	118
6.4-§.	Turli xil naychalar	120
6.5-§.	Suyuqliklarning teshikdan o`zgaruvchan bosimda oqishi	122
6.6-§.	Oqimcha texnikasi haqida tushuncha	123
	VII b o b. Quvurlarni gidravlik hisoblash	128
7.1-§.	Sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi	129
7.2-§.	Quvurning tejamli diametrini topish haqida tushuncha	134
7.3-§.	Sifon quvur	135
7.4.- §.	Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash	137
7.5-§.	Murakkab quvurlar	140
7.6-§.	Nasosdan ta'minlanuvchi quvur	142

7.7-§.	Elektrogidravlik o`xshashlik (analogiya) haqida tushuncha.	145
	VIII b o b. Gidravlikaning alohida masalalari (maxsus kurs). Suyuqliklarning beqaror harakati	153
8.1-§.	Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsiya bosimi hisobga olingan beqaror harakati	154
8.2-§.	Gidravlik zarba hodisasi	157
8.3-§.	To`g`ri zarba uchun N. Ye. Jukovskiy formulasi	160
8.4-§.	Teskari gidravlik zarba haqida tushuncha	163
8.5-§.	Gidravlik zarbani susaytirish usullari	165
8.6-§.	Gidravlik zarbadan amalda foydalanish	167
	IX b o b. Oqimning devorlar bilan o`zaro ta'sirlashuvi	169
9.1-§.	Oqimchaning to`siqlarga ta'siri	169
9.2-§.	Oqimning devorga ta'sir kuchi	170
	X bob. Gidrodinamika bo`limiga doir hisob grafik ishlarini bajarish	173
10.1-§.	Ideal suyuqliklar uchun	173
10.2-§.	Oqim harakat rejimiga bog`liq	181
10.3-§.	Real suyuqliklar uchun	187
	Gidrodinamika bo`limi bo`yicha hisob grafik ishlarini bajarish uchun topshiriqlar	197
	Masalalar. Amaliy mashg`ulotlarni bajarishga doir ko`rsatma	197
	Gidrodinamika bo`limiga doir laboratoriya ishlari	210
	Test savollari	234
	Glossariy	249
	Ilovalar	254
	FOYDALANILGAN ADABIYOT	263
	MUNDARIJA	265

Arifjanov Aybek Muhamedjanovich
Samiyev Luqmon Nayimovich
Atakulov Dinislam Ermaganbet o'g'li

GIDRAVLIKA
(Gidrodinamika bo'limi)

/ O'quv qo'llanma /

Muharrir: **M. MUSTAFAYEVA**

Musahhih: **D. ALMATOVA**

Bosishga ruxsat etildi: 11.05.2020y. Qog'oz o'lchami 60x84 - 1/16

Hajmi ____ bosma taboq. ____ nusxa. Buyurtma № ____

TIQXMMI bosmaxonasida chop etildi.

Toshkent-100000. Qori Niyoziy ko'chasi 39 uy.