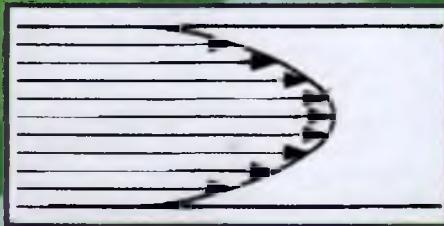
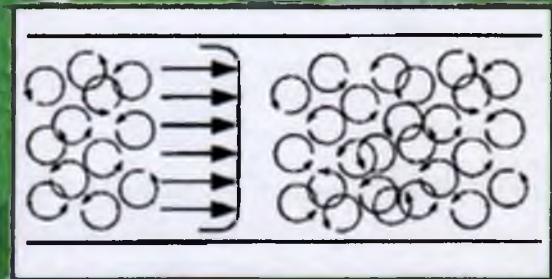
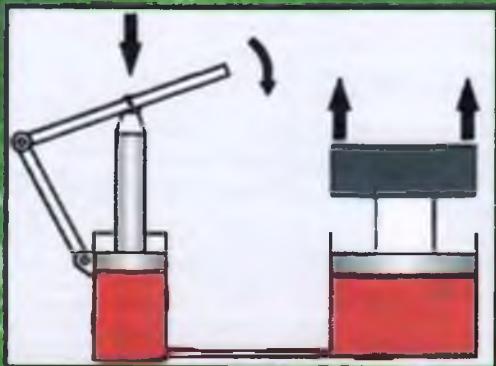


K. Latipov, O. Arifjanov  
H. Kadirov, B. Təşkov

# GIDRAVLIKA VA GIDRAVLIK MASHINALAR



**K.SH. Latipov, O.M. Arifjanov, H.G. Kadirov, B.R. Toshov**

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA  
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**GIDRAVLIKA VA GIDRAVLIK  
MASHINALAR**

*(O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lism vazirligi oliy texnika o'quv  
yurtlari uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etgan)*

Alisher Navoiy nomli nashriyot

NAVOIY-2014

Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi ilmiy-metodik birlashmalari faoliyatini muvofiqlashtiruvchi Kengash  
tomonidan nashrga tavsiya etilgan

UDK: 62-522(075)

KBK: 30.123

G 45

Latipov O. Arifjanov O. Kadirov H. Toshov B.

G 45 **Gidravlik va gidravlik mashinalar/ o'quv qo'llanma.** - Navoiy: Alisher Navoiy nomli nashriyot, 2013.  
425 b.

ISBN 978-9943-4168-0-2

Taqrizchilar:

Bozorov O. Sh. Toshkent davlat texnika universiteti dots.

Mahkamov S. M. Toshkent arxitektura – qurilish instituti dots.

O'quv qo'llanmada umumiy hidravlikaning asosi, markazdan qochma va o'qiy hamda uymalni va oqimchali nasoslar - kurakli hidromashinalar, ularda suyuqliklarning harakat qilish qonunleri, nasoslarning xarakteristikalarini va ulardan foydalaniш, nasoslarning ishlash chegaralari va ularda kavitasiya hamda hidravlik zarbaga qarshi kurash usullari bayon etilgan. Gidrodinamik uzatmalari, ularning nazariyasi va xarakteristikalarini keltirilgan. Kitobning ko'p qismi hajmiy hidromashinalarga, hajniniy hidroyuritmalarga bag'ishlangan va har bir qism masalalar echimi bilan boyitilgan.

O'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan mazkur kurs uchun tasdiqlangan o'quv dasturi asosida yozilgan bo'lib, u daстurning hamma bo'limalarini o'z ichiga qamrab olgan.

Укув кўйланинмада умумий гидравликанинг асоси, марказдан кочма ва ўқий хамда уормали ва оқимчали насослар - куракли гидромашиналар, уларда суюкликларнинг ҳаракат килиш конунлари, насосларнинг ҳарактеристикалари ва улардан фойдаланиш, насосларнинг шашлаш чегаралари ва уларда кавитация хамда гидравлик зарбага карши кураш усуллари биен этилган; Гидродинамик узатмалар, уларнинг назарияси ва ҳарактеристикалари келтирилган. Кигобининг кўп кисми хажмий гидроприводнига, хажмий гидроорбиталарга багишланган ва хар бир кисм масалалар echimi bilan boyitilgan.

Kitob Uзбекистон Respublikasi olini va ург'a maxsus ta'lim vazirligi tomonidan mazkur kurs учун tasdiqlangan укув дастури асосида ёзилган бўлиб, u daстurning hamma бўлимлариниуз ичига камраб олган.

Изложены основы общей гидравлики, рассмотрен рабочий процесс лопастных гидромашин – центробежных и осевых насосов, а также вихревых и струйных насосов, даны теория и расчёт этих машин, описаны их эксплуатационные свойства и характеристики, способы устранения кавитации и гидравлического удара в них; рассмотрены устройства, основы теории и характеристики гидродинамических передач. Значительная часть посвящена объемным гидромашинам, объемному гидроприводу. Каждая часть книги дополнена примером решения задач.

Книга написана в соответствии с учебной программой указанного курса, утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан, и содержит все основные разделы этой программы.

Bases of the general hydraulics are stated in this text-book, also, working process spaded hydro-cars - centrifugal and axial pumps, and also vortical and jet pumps is considered; the theory and calculation of these cars are given, their operational properties and characteristics, ways of elimination of cavitations and hydraulic blow in them are described; devices, bases of the theory and the characteristic of hydrodynamic transfers are considered. The considerable part is devoted to volume hydro-cars, a volume hydro-drive. Each part of the book is added by an example of the decision of problems.

The book is written according to the curriculum of the specified course confirmed by the Ministry of the higher and secondary-specialized education of the Republic of Uzbekistan, and contains all basic sections of this program.

UDK: 62-522(075)

KBK: 30.123.31.56

ISBN 978-9943-4168-0-2

© Q. Latipov, O. Arifjanov, H. Kadirov, B. Toshov, 2013  
© Alisher Navoiy nomli nashriyot, 2013.

271056/1

## **So‘z boshi**

O‘zbekiston Respublikasining "Ta’lim to‘g‘risida"gi qonuni va Kadrlar tayyorlash milliy dasturida belgilangan vazifalarni ro‘yogga chiqarish, ta’lim jarayonini yuqori saviyali davlat tilidagi o‘quv adabiyotlari bilan ta’minlashni talab etmoqda.

Ta’lim tizimida amalga oshiralayotgan islohatlar oliv texnika ta’lim o‘quv yurtlarining talabalarini o‘zbek tilida yozilgan texnika adabiyoti bilan to‘liq ta’minlashdek dolzarb vazifani o‘rtaga qo‘ydi.

"Gidravlika, gidromashinalar va gidroyuritmalar" darsligi ilk marotiba davlat tilida professor K.Sh. Latipov tomonidan yaratilgan edi. Mazkur kitobni tayyorlashda yuqorida zikr etilgan darslikka asoslandi va o‘quv qo‘llanmaning yangi nashri bu yo‘nalishda fanda erishilgan songi yutuqlar va amaliy mashg‘ulotlar uchun mo‘ljallangan amaliy masalalar va ularni zamonaviy uslublarda (EHM yordamida) yechish tartibi bilan boyitildi.

O‘quv qo‘llanma gidravlik jarayonlarni ifodalovchi qator mavzularni qamrab oladi. Kitob soha mutaxassislari, magistratura mutaxassisligi talabalari ham foydalanishlari uchun mo‘ljallangan.

O‘zbek tilida texnikaga oid, shu jumladan gidravlikaga oid atamalarni sof o‘zbek tilida berish ancha mushkul ish bo‘lganligi tufayli mualliflar bu borada jiddiy qiyinchiliklarga uchradir. Shuning uchun o‘quv qo‘llanmada ishlataligan ba’zi atamalarga e’tiroz bildirilishi, ular bir qarashda g‘alati tuyulishi mumkin. Lekin, imonimiz komilki, o‘zbek tilida nashr etiladigan texnika adabiyoti ko‘paya borishi bilan bu atamalarga aniqliklar kiritiladi va ular adabiyotda hamda iste’molda o‘z o‘rnini topadi.

|Qo‘llanma to‘g‘risidagi barcha do‘stona fikr-mulohazalarni mualliflar mammuniyat bilan qabul qiladilar.

**Mualliflar**

## KIRISH

Suyuqliklarning muvozanat va harakat qonunlarini o'rganuvchi hamda bu qonunlarni texnikaning har xil sohalariga tadbiq 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 tadbiq 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'rinni 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 nazariv 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 qiziqliki, 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 vaqtarda 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 xossalarni 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 koefitsiyentlar kiritib, ularni tajribalar o‘tkazish yo‘li bilan aniqlaydi. Keyinchalik esa gidravlika bilan gidromexanika fani o‘zaro yaqinlashib, bir-birini to‘ldiruvchi fanga aylandi.

Hozirgi zamon gidravlikasi nazariyani tajriba bilan bog‘lab, nazariy tekshirishlarni tajribada sinash, tajriba natijalarini esa nazariy asosda umumlashtirish yo‘li

bilan taraqqiy qilib boruvchi va o'z tekshirishlarida gidromexanikaning usullari hamda yutuqlaridan foydalanib boruvchi fandir.

Bu yo'nalishda Gidravlikaning taraqqiyotida quyidagi olimlarning muhim hissasi bor. Peterburg fanlar Akademiyasining a'zolari bo'lib, Rossiyada yashab, ijod etgan D. Bernulli va L.Eylerning gidromexanika fanining asoschilari sifatida yaratgan ishlasmalari, N.P.Petrovning gidrodinamik sirpanish nazariyasi, N.Ye.Jukovskiyning gidromexanikadagi muhim ishlari va quvurlardagi zarba nazariyasi, V.G.Shuxovning neft quvurlarini hisoblash bo'yicha ishlari, 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 sanoati va texnikasida o'zbek olimi X.A.Raxmatulin asos solgan ko'p fazali muhitlar gidrodinamikasi muhim ahamiyatga ega.

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.

Hozirgi zamon sug'orish sistemasini, ximiya sanoatini, qishloq xo'jaligi sanoatini va texnikaning bir qancha sohalarini nasoslar, kompressorlar, gidrouzatmalar va boshqa gidromashinalarsiz tasavvur qilib bo'lmaydi.

Gidromashinalar – mexanik harakatni suyuqlikning harakatiga yoki suyuqlikning harakatini mexanik harakatga aylantirib beruvchi qurilmalardir. Gidromashinalarning yuritmalar deb ataluvchi turlarida esa mexanik harakat avval suyuqlikning harakatiga aylantirilib, so'ngra yana mexanik harakatga aylantiriladi. Bu qurilmalar o'ziga xos maxsus qismlardan tashkil topgan bo'lib, bu kursda gidroyuritmalmarni gidromashinalardan alohida ko'rib chiqiladi.

Insoniyat tarixida suyuqlik harakatini mexanik harakatga, aylantirib beruvchi birinchi qurilma charxpalak bo'lib, uning O'rta Osiyo, Hindiston, Xitoy va Misrda bundan 3000 yillar avval sug'orish ishlarida va tegirmonlarda qo'llanilganligi ma'lum. Birinchi nasos – porshenli nasos bo'lib, inson yoki hayvon kuchi/bilan harakatga

keltirilgan. Bu mashinalar Rossiyada qadimdan ma'lum edi, M. V. Lomonosov o'z asarlarida chuqur shaxtalardan suvni tortib olishda foydalanish maqsadida nasoslarning tuzilishi va konstruksiyalarini keltirgan. U bir qancha qurilmalarni charxpalak yordamida harakatga keltirish usullari ustida ishladi va amalda joriy etdi. XVIII asr o'rtalarida gidravlik qurilmalardan foydalanuvchi zavodlar Uralning o'zida 150 dan ortiq edi. I. I. Polzunov tomonidan kashf qilingan (1765 y.) bug' mashinasi porshenli nasoslarni harakatga keltirish uchun keng qo'llana boshladi. L. Eyler (1707-1783 yy.) o'zining mashhur parrakli gidromashinalar nazariyasini yaratdi va parrakli gidromashinalarning ishini xarakterlovchi muhim munosabatlarni hosil qildi. Bu munosabatlar, 1835 y. A. A. Sablukov markazdan qochma nasosni kashf etganidan keyin, gidravlik turbinalar va markazdan qochma nasoslarni loyihalashda qo'llanila boshladi.

V.G. Shuxov neftni chuqur quduqlardan chiqarib olish uchun porshenli nasoslarning bir qancha konstruksiyalarini ishlab chiqdi. N. Ye. Jukovskiy va S. A. Shapliginlar qanoatlarning suyuqlikdagi harakati nazariyasini yaratdilar. Bu nazariya keyinchalik parraklarni va yo'naltiruvchi qurilmalarni loyihalashda asos bo'lib xizmat qildi, turbina va nasoslar tuzilishidagi muhim taraqqiyotlarga yo'l ochib berdi. I.I. Kukolevskiyning dinamik o'xshashlik qonunlarini markazdan qoshma nasoslarni loyihalashda qo'llashi nasoslar qurilishi bo'yicha laboratoriya tajribalarini ilmiy asosga qo'ydi.

Rossiyada gidromashinalar qurilishining taraqqiyotida I. G. Yesman, N. M. Shapov va boshqalarning xizmatlari juda katta.

Gidromashinalar kabi gidrouzatmalarning ham ayrim qismlari qadim zamondan qo'llanilib kelgan, lekin ularning hozirgi zamон tushunchasida (ya'ni bir qancha qurilmalar kompleksida) qo'llanilishi yaqin vaqtarda boshlandi. 1888 y, Rossiyada metallurgiya zavodi injenerlari gidrouzatmalardan foydalanganliklari ma'lum. 1907 y. dan boshlab dengiz flotida gidrouzatmalar (gidrotransformator va gidromuftalar) qo'llanila boshladi.

Vatanimiz tog' sanoatida gidroyuritmalar 1933-1937 yillardan foydalanila boshlandi. 1950 yildan boshlab gidromashinalar va gidrouzatmalarni mamlakatimiz sanoatida qo'llanilish juda tez taraqqiy qila boshladi.

Hozirgi kunda bu qurilmalardan paxta terish mashinalari, traktorlar, buldozerlar, turli avtomobillar va boshqa mexanizmlarda keng qo'llanimoqda.

Gidravlika va gidromashinalar taraqqiyotining istiqbollari yuqorida aytilgan miqyosda quyidagi larni o'z ichiga oladi. Yanada quvvatliroq va foydali ish koefisienti yuqoriqoq nasoslar, turbinalar va gidrouzatmalar yaratish va ularni amalda joriy etish;

- gidromashinalarni va gidroteknik inshootlarni loyihalashda hozirgi zamonaviy hisoblash usullarini qo'llash va EHM lardan ko'proq foydalanish. Mashinalarni avtomatik boshqarish sistemalari asosida boshqarishga o'tish;

- gidrouzatmalarda qo'llaniladigan ish suyuqliklarning arzonroq va sifatliroq turlarini yaratish, ish suyuqliklarining tirqishlardan sizib ketishini kamaytirish yo'llarini topish;

- ba'zi sharoitlarda mashinalarning moylash sistemalarini takomillashtirish va uni asosiy qurilmadan ajratish;

- gidromuftalarda issiqlikdan himoya vositalarini takomillashtirish va yangi konstruksiyalarini yaratish;

- pnevmouzatmalarda siqilgan havo tayyorlab beruvchi qismalarni va pnevmo-sistemalardagi tirqishlarni berkituvchi bo'lmlarini yaxshilash va hokazo.

## **GIDRAVLIKA**

### **I BOB. SUYUQLIKLARNING ASOSIY XOSSALARI**

#### **1.1. Suyuqlik to‘g‘risida asosiy tushunchalar**

Juda kichik miqdordagi kuchlar ta’sirida o‘z shaklini o‘zgartiruvchi fizik jismlar suyuqliklar deb ataladi. Ular qattiq jismaldan o‘z zarrachalarining juda harakatchanligi bilan ajralib turadi va oquvchanlik xususiyatiga ega bo‘ladi. Shuning uchun ular qaysi idishga quyilsa, o‘shaning shaklini oladi.

Gidravlikada suyuqliklar ikki gruppaga: tomchilanuvchi (kapelnie) suyuqliklarga va gazsimon suyuqliklarga ajraladi. Suyuqlik deganda tomchilanuvchi suyuqlikni tuchunishga odatlanilgan bo‘lib, ular suv, spirit, neft, simob, turli moylar va tabiatda hamda texnikada uchrab turuvchi boshqa har xil suyuqliklardir.

Tomchilanuvchi suyuqliklar bir qancha xususiyatlarga ega:

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

2) harorat o‘zgarishi bilan hajmi oz miqdorda o‘zgaradi; .

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

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

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

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

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

Suyuqliklar tutash jismlar qatoriga kiradi va muvozanat hamda harakat hollarida doimo qattiq jismlar (suyuqlik solingan idish tubi va devorlari, quvur va kanallarning devorlari va boshqalar) bilan chegaralangan bo‘ladi. Suyuqliklar gazlar (havo) bilan

ham ma'lum chegara bo'yicha ajralishi mumkin. Bu chegara erkin sirt (svobodnaya poverxnost) deb ataladi.

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

### 1.2. Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar

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

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

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

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

*Yuzaki kuchlar* – qaralayotgan suyuqlik hajmining sirtlariga ta'sir qiluvchi kuchlardir. Ularga bosim kuchi, sirt taranglik kuchi, suyuqlik solingan idish devorining reaksiya kuchlari, ichki ishqalanish kuchi kiradi. Ichki ishqalanish kuchlari suyuqlik harakat qilgan vaqtda yuzaga keladi va qovushoqlik xususiyatini yuzaga keltiradi (avvalgi paragrafga qarang).

*Massa kuchlar* - qaralayotgan suyuqlik hajmining har bir zarasiga ta'sir qiladi va uning massasiga proportional bo'ladi. Ularga og'irlilik va inertsiya kuchlari kiradi.

### 1.3. Suyuqliklarning fizik xossalari

**1. Solishtirma og'irlilik.** Suyuqliknинг hajm birligiga teng miqdorining og'irligi uning solishtirma og'irligi deb ataladi va grekcha  $\gamma$  harfi bilan belgilanadi. Yuqorida aytilgan ta'rifga asosan

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.1)$$

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

$$|\gamma| = \frac{|G|}{|V|} = \frac{N}{m^3}$$

texnik sistemada esa  $\frac{kg}{m^3}$  - bo'lib, ular o'zaro quyidagicha begilangan:

$$1 \frac{kg}{m^3} = 9,80665 \frac{N}{m^3}$$

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

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

$$\frac{P}{\gamma} = RT \quad (1.2)$$

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

$$(R_{kova} = 287 \frac{J}{kg \text{ grad}}, R_{metan} = 518 \frac{J}{kg \text{ grad}}),$$

Suyuqlik solishtirma og'irligining  $4^\circ C$  dagi suvning solishtirma og'irligiga nisbati uning nisbiy solshtirma og'irligi bo'ladi.

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

$$v = \frac{V}{G} \quad (1.3)$$

(1.1) va (1.3) formulalardan ko'rinish turibdiki:

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

Solishtirma hajmning o'lchov birligi SI sistemasida:

$$|\nu| = \frac{|V|}{|G|} = \frac{m^3}{N}$$

Solishtirma hajm ham solishtirma og'irlilik kabi bosim va temperaturaga bog'liq bo'lib, u (1.2) ning boshqa ko'rinishi

$$p\nu = RT \quad (1.4)$$

orqali ifodalanadi.

**3. Zichlik.** Suyuqlikning hajm birligiga to‘g‘ri kelgan tinish holatdagi massasi uning zichligi deb ataladi. Bu ta‘rifga asosan

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1.5)$$

bunda M - suyuqlikning massasi (birligi  $\frac{Ns^2}{m}$ ).

Zichlikning o‘lchov birligi quyidagicha aniqlanadi:

$$|\rho| = \frac{M}{L^3} = \frac{Ns^2}{m^4}.$$

Ba’zan nisbiy zichlik tushunchasi kiritiladi. Suyuqlik zichligining suvning  $4^{\circ}\text{C}$  issiqlikdagi zichligiga nisbati uning nisbiy zichligi bo‘ladi. (1.5) va (1.1) lardan ko‘rinib turibdiki, zichlik bilan solishtirma og‘irlik o‘zaro quyidagicha bog‘langan:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1.6)$$

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

$$\rho_{\text{hab}} = \frac{M_{\text{suv}}}{M_{\text{suv}}} = \frac{G_{\text{suv}}}{G_{\text{suv}}} = \gamma_{\text{hab}}. \quad (1.7)$$

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

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_t(t - 20)} \quad (1.8)$$

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

Suvning zichligi bu qonundan mustasno bo‘lib, uning zichligi eng katta qiymatga  $4^{\circ}\text{C}$  (aniqrog‘i  $3,98^{\circ}\text{C}$ ) da ega bo‘ladi. Uning issiqligi bundan oshsa ham, kamaysa ham zichligi kamayib boradi.

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

Suyuqlikning issiqlikdan kengayishini kolbaga solingan suyuqlikning qizdirilganda hajmi ko‘payishi, suyuqlik to‘ldirilib germetik yopib qo‘yilgan boshqa va

sisternalarning quyosh nurida qolganda yorilib ketishi, to'ldirilgan idishdagi suyuqlikning sirtidan oqib tushishi kabi hodisalarda juda ko'p uchratish mumkin.

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

### 1.1-jadval.

Suvning hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti  $\beta_i$  1/grad

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

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

$$\beta_i = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (1.9)$$

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

$$[\beta_i] = \frac{1}{grad};$$

$\beta_i$  juda kichik miqdor bo'lib, u suv uchun  $t = 20^\circ C$  da  $\beta_i = 210^{-4} \frac{1}{grad}$ , mineral moylar

uchun  $\beta_i = 710^{-4}$  1/grad; simob uchun  $\beta_i = 1810^{-5}$  1/grad.

**5. Suyuqliklarning siqilishi.** Gidravlik hisoblash ishlariда suyuqliklarni siqilmaydi deb hisoblash kerak, deb aytil o'tgan edik (bu yerda tomchilanuvchi suyuqlik nazarda tutiladi).

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

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

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (1.10)$$

bunda  $\Delta p = p - p_0$  – o'zgargan va boshlang'ich bosimlar farqi;  $\beta_p$  ham  $\beta_s$  kabi juda kichik miqdor bo'lib, suv uchun  $t = 20^\circ\text{C}$  da  $\beta_p = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{MN}$  ( $\text{MN} - \text{meganyuton} = 10^6 \text{ N} \approx 10 \text{ at}$ ), mineral moylar uchun  $\beta_p = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{MN}$ ; shuning uchun ham ko'p hollarda siqilishni hisobga olinmaydi.

## 1.2-jadval.

Suvning hajmiy siqilish koeffitsiyenti  $\beta_p = 10^4 \text{ m}^2/\text{N}$

t, °C	Bosim, MN/m <sup>2</sup>				
	0,5	1,0	2,0	3,9	7,9
0	0,00000540	0,00000537	0,00000531	0,00000523	0,00000515
5	0,00000529	0,00000523	0,00000518	0,00000508	0,00000493
10	0,00000523	0,00000518	0,00000508	0,00000498	0,00000481
15	0,00000518	0,00000510	0,00000503	0,00000488	0,00000470
20	0,00000515	0,00000505	0,00000495	0,00000481	0,00000460

## 1.4. Suyuqliklardagi ishqalanish uchun Nyuton qonuni. Qovushoqlik

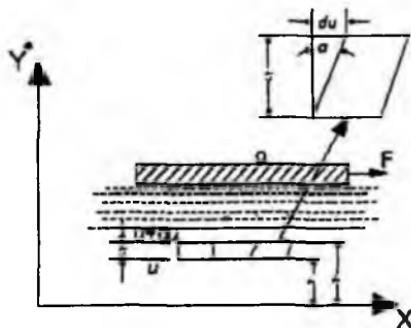
Qovushoqlik hodisasi suyuqliklarning harakati vaqtida yuzaga keladi va harakatlanayotgan zarracha harakatiga qarshilik sifatida namoyon bo'ladi. Bu qarshilikni yengish uchun ma'lum miqdorda kuch sarflash kerak bo'lib, qovushoqlik qancha kuchli bo'lsa, sarflash kerak bo'lgan kuch ham shuncha ko'p bo'ladi. Qovushoqlik darajasini qovushoqlik koeffitsiyenti deb ataluvchi kattalik bilan ifodalanadi va u ikki xil koeffitsiyent orqali aniqlanadi hamda aniqlanish usuliga qarab dinamik va kinematik qovushoqlik koeffitsiyentlariga bo'linadi.

**Dinamik qovushoqlik (yopishqoqlik) koeffitsiyent.** Suyuqliknin katta yuzaga ega bo'lgan idishga solib, uning yuziga biror plastinka qo'ysak va bu plastinkani ma'lum bir kuch bilan torta boshlasak, suyuqlik zarrachalari plastinka sirtiga yopishishi natijasida harakatga keladi (m). Agar plastinkaning qo'yilgan  $F$  kuch ta'sirida olgan tezligi  $a$  bo'lsa,  $a$  bilan yonma-yon turgan zarrachalar ham  $a$  tezlikka ega bo'ladi.

Idishning pastki devori harakatga kelmagani sababli uning sirtidagi zarrachalar harakat qilmaydi. Shunday qilib, suyuqlikning qalinligi bo'yicha xayolan bir qancha yupqa qatlamlar bor deb faraz qilsak, har bir qatlamda zarrachalar tezligi har xil bo'lib, u plastinkadan pastki devorga tomon kamayib boradi. Harakat ixtiyoriy qatlamga, uning ustida joylashgan boshqa qatlam zarrachalari orqali beriladi. Bu harakat suyuqlik qatlamlarining deformatsiyalanishiga olib keladi. Agar suyuqlik ichida pastki sirti idishning harakatsiz devoridan  $y_1$  masofada, ustki sirti esa  $y_2$  masofada bo'lgan qatlamni ko'z oldimizga keltirsak, yuqorida aytigan sabablarga asosan uning pastki sirtida tezlik  $u_1$  yuqorigi sirtida esa  $u_2$  bo'ladi. Shunday qilib, olingen qatlamning qalinligi  $\Delta y = y_2 - y_1$  bo'yicha suyuqlik tezligi  $(u_2 - u_1) = \Delta u$  miqdorga o'zgaradi, ya'ni qatlamning yuqorigi sirti pastki sirtiga nisbatan siljib qoladi va qatlamda ko'rsatilgandek deformatsiyalanadi. Siljish burchagini  $\alpha$  deb belgilasak, siljish kattaligi

$$tg\alpha = \frac{\Delta u}{\Delta y} \text{ bo'ladi. Qatlam qalinligini cheksiz kichraytirib differentialsil belgilashga}$$

o'tsak, u holda yuqoridagi nisbat tezlik gradiyenti  $\left( \frac{du}{dy} \right)$  ni beradi. Agar suyuqlik sirtidagi plastinkaga qancha ko'p kuch qo'ysak, siljish shuncha ko'p bo'ladi. Bu narsa qo'yilgan kuch bilan tezlik gradiyenti orasida qandaydir bog'lanish mavjudligini ko'rsatadi.



1.1- rasm. Qovushoqlik tushunchasiga doir chizma

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

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

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

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

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

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

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

$$I_p = \mu \frac{du}{dy} - \int \lambda_p (1 - \varphi_2) u dy + B \quad (1.12a)$$

bu yerda  $\lambda_p = (1 - \varphi_2)$  – bir qavatdan ikkinchi qavatga molekulalarning o‘tishini bildiruvchi koeffitsiyentdir.

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

Qovushoqlik koeffitsiyentining birligi SI da quyidagicha:

$$[\mu] = \left[ \frac{\tau}{du} \right] = \frac{Ns}{m^2}$$

SGS sistemasida esa  $\frac{dina s}{m^2}$  bilan o‘lchanadi. Bu birlik Puaz (PZ) deb ham ataladi.

Koeffitsiyent juda kichik bo‘lganda santipuaz (spz) va millipuaz (mpz) larda ham o‘lchanishi mumkin.

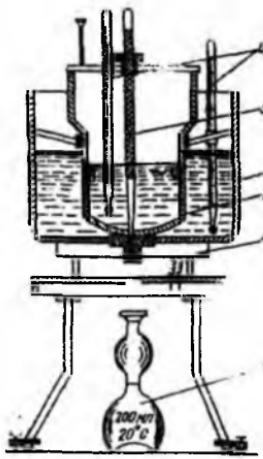
**Kinematik qovushoqlik koeffitsiyent.** Gidravlikadagi ko'pgina hisoblash ishlarida  $\mu$  ning  $\rho$  ga nisbatli bilan ifodalanuvchi va kinematik qovushoqlik koeffitsiyenti deb ataluvchi miqdordan foydalanish qulaydir. Bu miqdor grekcha  $\nu$  harfi bilan belgilanadi:

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

$\nu$  ning SI dagi birligi  $\frac{m^2}{s}$ , SGS sistemasida  $\frac{sm^2}{s}$  yoki stoks (st) bilan ifodalanadi.

Mahsus adabiyotlarda (Spravochniklarda) va texnik adabiyotda uning kichik o'lchovlari ham (santistoks - sst) uchraydi.  $1 m^2/s = 10^4$  st =  $10^6$  sst.

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



1.2-rasm. Engler viskozimetri.

Ichki idishga tekshirilayotgan suyuqlik quyilib, uning temperaturasi ikki idish oralig'idagi suvni qizdirish yo'li bilan zarur bo'lgan temperaturagacha yetkaziladi. Tekshirilayotgan suyuqlik temperaturasi termometri b yordamida o'lchab turiladi. Suyuqlik zarur temperatura t' gacha qizigandan so'ng tiqin ochiladi va sekundomer

yordamida  $200 \text{ sm}^3$  suyuqlik 3 oqib chiqqan vaqt belgilanadi. Xuddi shunday tajriba  $t = 20^\circ\text{C}$  da distillangan suv bilan ham o'tkaziladi. Tekshirilayotgan suyuqliknинг  $t = 20^\circ\text{C}$  dan oqib chiqqan vaqtlarining nisbati qovushoqliknинг shartli graduslari yoki Engler graduslarini bildiradi:

$${}^0 E = \frac{T_{\text{suyuqlik}}}{T_{\text{suv}, t=20^\circ\text{C}}}.$$

Engler gradusidan  $\text{m}^2/\text{s}$  ga o'tish uchun Ubbelode formulasi qo'llaniladi:

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

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

Qovushoqlik suyuqliklarning turiga, temperaturasiga va bosimiga bog'liq. Jadvallarda har xil suyuqliklarning qovushoqlik miqdori keltirilgan. Temperatura ortishi bilan tomchilanuvchi suyuqliklarning qovushoqligi kamayadi, gazlarning qovushoqligi ortadi. Suyuqliklar qovushoqligining temperaturaga bog'liqligini umumiy tenglama bilan ifodalab bo'lmaydi.

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

#### Havo uchun

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

#### Suv uchun

$$\nu_t = \frac{0,0177}{1 + 0,0337t + 0,000221t^2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad (1.16)$$

Gidroyuritmalarda qo'llanuvchi turli mineral moylar uchun temperatura  $30^\circ\text{C}$  dan  $150^\circ\text{C}$  gacha ( ${}^0 E$  10 gacha) bo'lganda

$$\nu_t = \nu_{50} \left( \frac{50}{t} \right)^n \quad (1.17)$$

Bu yerda  $\nu_{50}$  – tegishli temperaturada va  $50^\circ\text{C}$  da kinematik qovushoqlik koefitsiyenti;  $t$  – temperatura,  $^\circ\text{C}$  da;  $n$  – daraja ko'rsatkichi; uning miqdori quyidagi jadvalda  ${}^0 E_{50}$  ning turli miqdorlari uchun keltirilgan:

#### 1.3-jadval

${}^0 E_{50}$	1,2	1,5	1,8	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Pi$	1,39	1,59	1,72	1,79	1,99	2,13	2,24	2,32	2,42	2,49	2,52	2,56

Turli suyuqliklarning qovushoqligi boshlang'ich qovushoqlik va temperaturasiga qarab turlicha o'zgaradi. Ko'pchilik suyuqliklarning qovushoqligi bosim ko'tarilishi bilan ortadi. Mineral moylarning qovushoqligi bosimning  $0\text{--}50 \text{ MN/m}^2$  chegarasida taxminan chiziqli o'zgaradi va quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$v_p = v_0(1 + k_p p), \quad (1.18)$$

bu yerda  $v_p$  va  $v_0$  – tegishli bosimda va atmosfera bosimida kinematik qovushoqlik koefitsiyenti,  $p$  – qovushoqlik o'lchangan bosim,  $\text{MN/m}^2$ ;  $k_p$  – eksperimental koefitsiyent, uning miqdori gidroyuritmalarni hisoblashda yuqorida aytilgan chegarada 0,03 ga teng deb qabul qilinadi.

### 1.5. Sirt tarangligi (kapillyarlik)

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

Sirt taranglik kuchi Laplas formulasi bilan ifodalanadi:

$$P = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (1.19)$$

bu yerda  $\sigma$  – sirt taranglik koefitsiyenti;  $r_1, r_2$  – bosh egrilik radiuslari.

O'xshash kapillyar idishlar uchun:

$$P = \frac{2\sigma}{r}, \quad (1.20)$$

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

$$h = \frac{k}{d}, \text{ mm} \quad (1.21)$$

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

### 1.4- ja d v a l.

Ba'zi suyuqliklari uchun sirt taranglik koefitsiyenti

Suyuqliklarning nomi	$\sigma, \frac{N}{m}$
Suv	0,073

Spirt	0,0225,
Benzin	0,029
Glitserin	0,065
Simob	0,490

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

### 1.6. Suyuqlik to'yangan bug'ining bosimi

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

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

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

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

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

## **1.7. Gazlarning suyuqlikda erishi. Kavitsiya hodisasi haqida tushuncha**

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

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

## **1.8. Ideal suyuqlik modeli**

Suyuqliklarning harakati tekshirilganda, odatda, hamma kuchlarni hisobga olib bo'lmagani uchun, ularning suyuqlik muvozanati yoki harakati holatiga ta'siri katta bo'lganlarini saqlab qolib, ta'siri kichiklarini tashlab yuboramiz. Shu usul bilan suyuqliklar uchun ideal va real suyuqliklar modeli tuziladi. Hozirgi vaqtida suyuqlik harakatini ifodalovchi umumiy tenglamalar juda murakkab bo'lib, uni yechishni osonlashtirish uchun yuqorida aytigandek soddalashtirishlar kiritiladi. Bunday soddalashtirishlar esa suyuqliklarning fizik xossalariiga chegara qo'yadi va bu suyuqliklar ideal suyuqliklar deyiladi. Ideal suyuqliklar absolyut siqlmaydigan,

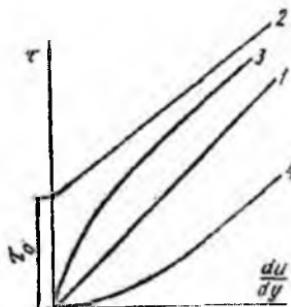
issiqlikdan hajmi o'zgarmaydigan, cho'zuvchi va siljutuvchi kuchlarga qarshilik ko'rsatmaydigan abstrakt tushunchadagi suyuqliklardir.

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

### 1.9. Nyuton qonuniga bo'y sunmaydigan suyuqliklar

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

Hozir suyuqliklarning xossalarini chuqurroq o'rganish va texnikada ishlataladigan suyuqliklar turining ko'payishi natijasida Nyuton qonuniga bo'y sunmaydigan ko'pgina suyuqliklar mavjud ekanligi aniqlandi. Bunday suyuqliklarda *qovushoqlik zo'riqish* kuchi  $\tau$  umumiy holda tezlik gradiyenti  $\frac{du}{dy}$  ning funksiyasi sifatida qaraladi:  $\tau = f\left(\frac{du}{dy}\right)$



1.3- rasm. Nyuton qonuniga bo'y sunmaydigan suyuqliklarga doir chizma.

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

**1. Bingam suyuqliklari (plastik yopishqoq suyuqliklar).** Bu suyuqliklar kichik zo'riqishlarda ozgina deformatsiyalanib, zo'riqish yo'qolsa, yana avvalgi holiga qaytadi. Zo'riqish kuchi  $\tau$  biror  $\tau_0$  qiymatdan oshsa, harakat boshlanadi. Bingam suyuqliklari xuddi Nyuton suyuqliklari kabi harakatlanadi. Bu suyuqliklar uchun Nyuton qonuni o'mnida quyidagi qonun qo'llaniladi.

$$\tau = \tau_p + \eta \frac{du}{dy} \quad (1.22)$$

bu yerda  $\eta$  – struktura yopishqoqligi deb ataladi.

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

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

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

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

$$\tau = k \left( \frac{du}{dy} \right)^m \quad (1.23)$$

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

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

Bundan tashqari,  $\tau$  va  $\frac{du}{dy}$  o'rtasidagi bog'lanish vaqtga bog'liq bo'lgan suyuqliklar ham tabiatda uchrab turadi. Ularning yopishqoqlik koeffitsiyenti zo'riqishning qancha vaqt ta'sir qilganiga qarab o'zgarib boradi. Bunday suyuqliklarga ko'pgina

bo‘yoqlar, sut mahsulotlarining ko‘p turlari, turli smolalar misol bo‘ladi. Ular tiksotrop suyuqliklar, reopektant suyuqliklar va maksvell suyuqliklari deb ataluvchi guruhlarga bo‘linadi. Bu suyuqliklarning yana bir xususiyatlari shundan iboratki, ularning ba’zi turlari (maksvell suyuqliklari) qo‘yilgan zo‘riqish kuchi olinishi bilan avvalgi holatiga qisman qaytadi (ya’ni hozirgi zamon fanining tili bilan aytganda xotirlash xususiyatiga ega bo‘ladi).

### **I bob bo‘yicha nazorat savollari**

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

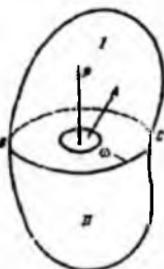
## II BOB. GIDROSTATIKA

Gidravlikaning suyuqliklar muvozanat qonunlarini o'rganuvchi bo'limi gidrostatika deb yuritiladi. Bu qonunlarni tekshirish suyuqliklar orqali kuchlarni uzatish bilan bog'liq masalalarni hal qilishda muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari, gidrostatika suyuqliklarga to'liq yoki qisman botirilgan qattiq jismalarning muvozanat qonunlarini ham o'rganadi.

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

### 2.1. Suyuqliklarda bosim

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



**2.1-rasm. Suyuqliklarda bosim tushunchasiga doir chizma.**

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

Qaralayotgan ω yuzaga ta'sir qiluvchi P kuch *gidrostatik bosim kuchi* yoki qisqacha *gidrostatik kuch* deyiladi. P kuch II qismiga nisbatan tashqi kuch, butun hajmga nisbatan esa ichki kuch hisoblanadi. P kuchning ω yuzaga nisbati bu yuzaning birlik miqdoriga ta'sir qiluvchi kuchni beradi va u o'rtacha gidrostatik bosim deb ataladi:

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

Agar  $\omega$  yuzani kichraytira borib, nuqtaga intiltirsak ( $\omega \rightarrow 0$ ),  $p_o$ , biror chegaraviy qiyamatga intiladi:

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

Bu qiyamat  $A$  nuqtaga ta'sir qilayotgan bosimni beradi va u gidrostatik bosim deb ataladi. Umumiy holda gidrostatik bosim  $p$  bilan o'rtacha gidrostatik bosim  $p_o$ , teng emas. Ular bir-biridan kichik miqdorga farq qiladi.

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

## 2.2. Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari

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

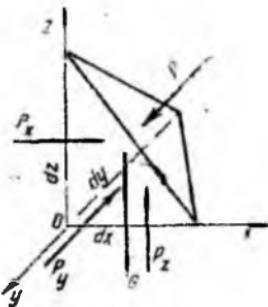
1 - x o s s a - *gidrostatik bosim u ta'sir qilayotgan yuzaga normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi*. Bu xossaning to'g'riliгини isbotlash uchun gidrostatik bosim  $p$  o'zi ta'sir qilayotgan yuzaga normal bo'yicha yo'nalmagan deb faraz qilamiz. Bu holda  $p$  normal va urinma yo'nalishlarda proyektsiyalarga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

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

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

U holda  $yOz$  tekislikdagi yuza bo'yicha,  $Px$ ,  $xOz$  tekislikdagi yuza bo'yicha,  $Px$ ,  $xOy$  tekislikdagi yuza bo'yicha, esa  $Pz$  kuchlar ta'sir qiladi.  $Q$  yuzanining sirti  $d\omega$  ga teng deb hisoblaymiz. Agar gidrostatik bosim  $Ox$  o'qi bilan  $\alpha$ ,  $Oy$  o'qi bilan  $\beta$ ,  $Oz$  o'qi bilan  $\gamma$  burchak tashkil qilsa, u holda  $d\omega$  yuzaga ta'sir qilayotgan kuch ( $pd\omega$ ) ning o'qlardagi proyektsiyalari  $pd\omega \cos\alpha$ ,  $pd\omega \sin\beta$ ,  $pd\omega \cos\gamma$  larga teng. Og'irlik kuchi esa

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



**2.2-rasm. Bosimlarning xossalariaga doir chizma**

Suyuqlik muvozanatda bo‘lgani uchun kuchlarning o‘qlardagi proyektsiyalarining yig‘indisi nolga teng, ya’ni  $Ox$  o‘qi bo‘yicha

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

$Oy$  o‘qi bo‘yicha

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

$Oz$  o‘qi bo‘yicha

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

$d\omega$  yuzaning proyektsiyalari quyidagilarga teng:

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

Yuqoridagi tenglamalar qisqartirilgandan keyin quyidagicha yoziladi:

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

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

$$p_x = p; \quad p_y = p; \quad p_z = p \quad ya’ni \quad p_x = p_y = p_z = p$$

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

### 2.3. Muvozanatdagи suyuqlikning differentialsial tenglamasi (Eyler differentialsial tenglamasi)

Muvozanat holatidagi suyuqliklarga bosim va og'irlik kuchlari ta'sir qiladi. Bosim suyuqlik egallagan hajmning har xil nuqtasida har xil qiymatga ega. Shuning uchun bosimni koordinata o'qlari  $x, y, z$  larning funktsiyasi deb qarashi kerak. Ko'rيلayotgan suyuqlikda tomonlari  $dx, dy, dz$  ga teng bo'lgan parallelopipedga teng elementar hajm ajratib olamiz (2.3- rasm). Endi suyuqlikka ta'sir qiluvchi kuchlarning muvozanat holatini tekshiramiz. Og'irlik kuchining proyektsiyalari  $\rho XdV; \rho YdV; \rho ZdV$  bo'lsin; ya'ni  $G\{\rho XdV, \rho YdV, \rho ZdV\}$ . Elementar hajmning  $yOz$  tekislikda yotgan sirtiga  $Ox$  o'qi yo'nalishida  $p$  ga teng, unga parallel bo'lgan sirtiga esa  $p + \frac{\partial p}{\partial x}$  ga teng bosimlar ta'sir qiladi (2.3-rasm). Bu sirtlarga ta'sir qiluvchi bosim kuchlari esa tegishlicha  $pdydz$  va  $\left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx\right)dydz$  larga teng. Olingan elementar hajm  $Ox$  o'qi bo'yicha muvozanatda bo'lishi uchun bu o'q bo'yicha yo'nalgan kuchlar yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak:

$$pdydz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx\right)dydz - \rho xdx dydz = 0$$

Shuningdek,  $Oy$  o'qi bo'yicha,  $yOz$  tekislikda yotuvchi sirtga  $pdx dz$ , unga parallel bo'lgan sirtga esa,  $\left(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy\right)dx dz$  kuchlar ta'sir qiladi.

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

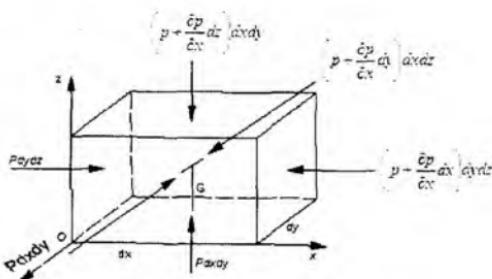
$$pdx dz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial y} dy\right)dx dz - \rho Y dx dy dz = 0 \quad (2.1)$$

Shuningdek,  $Oz$  o'qi bo'yicha

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

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

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



### 2.3-rasm. Suyuqliklar muvozanatining (Eyler) tenglamasiga doir chizma.

O'xshash miqdorlarni qisqartirish va qolgan hadlarni  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  ga bo'lishdan keyin quyidagi tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= \rho X \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= \rho Y \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= \rho Z \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

Bu tenglamalar sistemasidan ko'rinish turibdiki, gidrostatik bosimning biror koordinata o'qidagi o'zgarishi zichlikning birlik og'irlilik kuchining shu o'q yo'nalihidagi proyektsiyasiga ko'paytmasiga teng ekan, ya'ni muvozanatdagi suyuqliklarda bosimning o'zgarishi massa kuchlarga bog'liq. (2.2) tenglamalar sistemasi suyuqliklar muvozanat holatining umumiy differentialsial tenglamasidir. Bu tenglama 1755 yil L. Eyler tomonidan taklif enilgan.

### 2.4. Bosimi teng sirtlar. Erkin sirt

Eyler tenglamalarini integrallash uchun uni qulay shaklga keltirishda (2.2) ning har bir tenglamasini  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  larga o'zaro ko'paytiramiz va ularni hadma-had qo'shib chiqamiz:

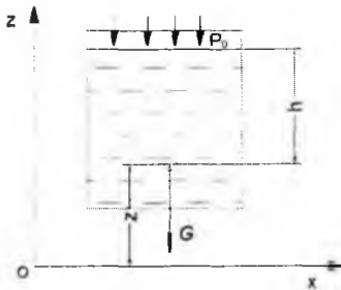
$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \rho(Xdx + Ydy + Zdz).$$

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

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (2.3)$$

Hosil bo'lgan tenglama bosimning suyuqlik turiga va fazoning nuqtalari koordinatalariga bog'liqligini ko'rsatadi hamda bosimning ixtiyoriy nuqtadagi miqdorini topishga yordam beradi. Bu tenglama tomchilanuvchi suyuqliklar uchun ham, gazlar uchun ham o'rinni bo'lib, gazlar uchun qo'llanganda gaz holati tenglamalari bilan birgalikda ishlataladi. (2.3) dan hamma nuqtalarida bir xil bosimga ega bo'lgan ( $p = const$ ) sirtlarni topish mumkin. Bunday tekisliklar bosimi teng sirtlar deb ataladi.  $p = const$  bo'lganda  $dp = 0$  bo'ladi,  $\rho$  esa nolga teng bo'lishi mumkin emas. Shuning uchun bosimi teng sirtlar tenglamasi quyidagicha yoziladi:

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



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

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

## 2.5. Eyler tenglamasining integrallari

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

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

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

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

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

$$p = \gamma h + p_0$$

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

### b) Tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan idishdagi suyuqlik

Suyuqlik  $a$  tezlanish bilan harakat qilayotgan idishda muvozanat holatida bo'lsin (2.4-rasm), bu holda suyuqlik zarralari tezlanish a va og'irlik ta'sirida bo'ladi, ular uchun birlik massa kuchlar esa quyidagicha bo'ladi:

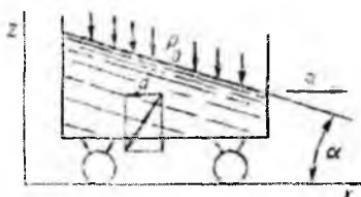
$$X = -a, Y = 0, Z = -g$$

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

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

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

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



**2.4 -rasm Tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan idishdagi suyuqlik.**

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

$$p = p_{ax} + \gamma z + p_0 + C$$

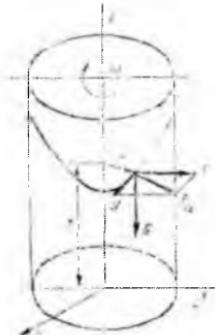
**v) Aylanayotgan idishdagı suyuqlik.**

Suyuqlik vertikal o'q atrofida  $\omega$  burchak tezlik bilan aylanayotgan idish ichida muvozanat holatida bo'lsin (2.5- rasm). Bu holda suyuqlik zarralari markazdan qochma kuch va og'irlik kuchlari ta'sirida bo'ladi. Markazdan qochma kuch quyidagiga teng:

$$F_a = \frac{mu^2}{r} \approx m\omega^2 r$$

Uning proyektsiyalari esa quyidagicha topiladi:

$$F_{nx} = m\omega^2 x, F_{ny} = m\omega^2 y$$



**2.5-rasm Aylanayotgan jism ichidagi suyuqlik.**

Shuning uchun birlik massa kuchlar quyidagilarga teng:

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

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

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

Uni integrallasak

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

bo'ladi.

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

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

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

## 2.6. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi

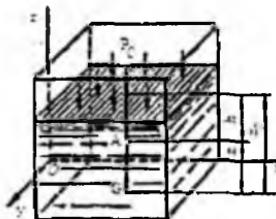
Tinch turgan idishdagi suyuqlikni qaraymiz. Bu suyuqlikka og'irlik kuchi ta'sir etadi. Koordinata o'qlarini  $Oz$  o'qi vertikal yuqoriga yo'naladigan qilib yo'naltiramiz (2.6-rasm).

Ko'rileyotgan idish ichida biror  $xOy$  tekisligidan  $z$  masofada, erkin sirtdan esa  $H$  masofada joylashgan biror  $A$  nuqtani olamiz. U holda birlik massa kuchlarning bu koordinata sistemasidagi proyektsiyalari quyidagicha bo'ladi:

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

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

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



**2.6-rasm. Gidrostatikaning tenglamasiga doir chizma.**

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

$$dp = -\rho g dz$$

(Bu tenglamani (2.3) dan ham olish mumkin.) Bu esa yuqorida (1.14-§ da) aytilgandek tinch turgan idishlardagi suyuqlik bosimi gorizontal sirtlar bo'yicha o'zgarmas degan

fikrni tasdiqlaydi. Oxirgi tenglamani erkin sirtdan  $z$  nuqttagacha bo‘lgan oraliq uchun integrallaymiz va quyidagi tenglamani chiqaramiz:

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

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

$$p = p_0 + \rho gh$$

yoki

$$p = p_0 + \gamma h \quad (2.8)$$

Bu gidrostatikaning asosiy tenglamasi deb ataladi va suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasidagi bosimni, suyuqlik turi va olingen nuqtaning erkin sirtdan qanday masofada ekanligiga qarab aniqlaydi. Gidrostatikaning asosiy tenglamasi quyidagi qonuniyatni ifodalaydi: *suyuqlik ichidagi ixtiyoriy nuqtadagi bosim suyuqlik erkin sirtdagisi, bosim  $p_0$  va shu nuqtadagi suyuqlik ustunining bosimi ( $\gamma h$ ) yig‘indisiga teng.*

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

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

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

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

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

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

Manometrik bosim absolyut bosimning miqdoriga qarab har xil qiymatga ega bo‘lishi mumkin, masalan,  $p = p_0$  bo‘lganda  $p_m = 0$ ;  $p \rightarrow \infty$  bo‘lganda  $p_m \rightarrow \infty$ , ya’ni manometrik bosim 0 bilan  $\infty$  o‘rtasidagi barcha qiymatlarini qabul qilishi mumkin.

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

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

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

Bosimni o'lhash uchun texnikada turli birlıklar ishlataladi:

1. Kuch birlıklarining yuza birlıklariga nisbati, masalan,

$$\text{N/m}^2, \text{ kgK/m}^2, \text{ kgK/sm}^2.$$

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

3. Birlik yuzaga to'g'ri kelgan berilgan kuch miqdoriga nisbati yoki suyuqlik ustunining berilgan balandligi miqdorlari, masalan, texnik atmosfera (atm) (1 atm=1 kgK/sm<sup>2</sup> = 10<sup>4</sup> kgK/m<sup>2</sup> = 735,6 mm sim. ust.) bar (1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>) va hokazo.

4. Chegirma bosim yuqoridagi birlıklarda o'lchanadi va **atmlarda** hisoblanadi.

## 2.8. Bosim o'lhash asboblari

Bosim o'lhash asboblari ikki guruhga ajratiladi. Ular suyuqlik va mexanik asboblardir.

### I. Suyuqlik asboblari:

a) *pezometrlar* - idishdagi bosim unga ulangan shisha naychada tekshirilayotgan suyuqliknинг ko'tarilishiga qarab aniqlanadi (2.7- rasm). Idishdagi bosimning katta yoki kichikligiga qarab pezometr (shisha naycha) da suvning sathi  $h_n$  balandlikka ko'tariladi. Tekshirilayotgan A nuqtadagi bosim  $p_a$  idishdagi erkin sathdagi bosim bilan undagi suv ustunining bosimi yig'indisiga teng. Pezometr orqali aniqlanganda u gidrostatikaning asosiy tenglamasi yordamida quyidagicha aniqlanadi:

$$p_A = p_a + \gamma(h + h_0). \quad (2.12)$$

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

$$h + h_n = \frac{p_A - p_a}{\gamma}$$

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

**b) Suyuqlik U-simon manometrlari** - bosim tekshirilayotgan suyuqlik bilan emas, simob ustuni yordamida o‘lchanadi (2.8-rasm). Bu holda simobli shisha naycha idishga U-simon naycha orqali ulananadi. Bunda simobning bosimi o‘lchanayotgan idishga oqib o‘tishiga U-simon naychadagi qarshilik to‘sqinlik qiladi. U holda A nuqtadagi bosim idish tomonidagi qiymatlar orqali quyidagicha aniqlanadi:

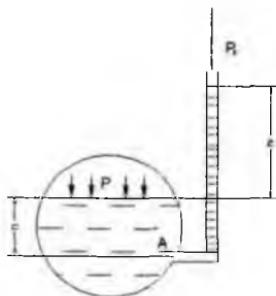
$$p_A = p + \gamma h_1$$

Simobli naychadagi qiymatlari orqali esa

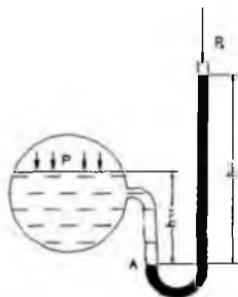
$$p_A = p_a + \gamma_{sm} h_{sm}$$

Bu ikki tenglikdan  $p$  ni topamiz:

$$p = p_a + \gamma_{sm} h_{sm} - \gamma h_1 \quad (2.13)$$



2.7-rasm. Pezometr.

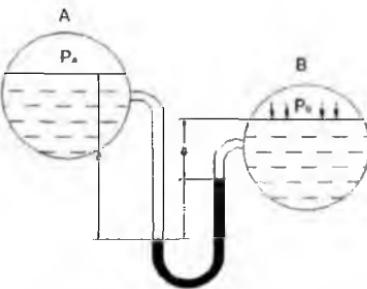


2.8-rasm. U-simon manometr.

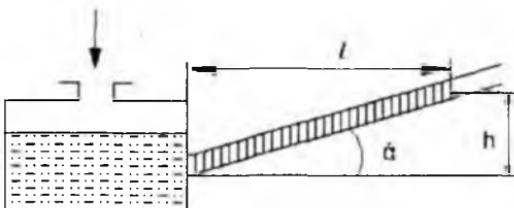
Bunday manometrlar ham bir necha atmosferadan ortiq bosimni o‘lhashga yaramaydi. v) *Differentsial manometrlar* - ikki idishdagi bosimlar farqini o‘lhash uchun ishlatiladi (2.9- rasm). Bosimlarni  $p_a$  va  $p_v$  ga teng bo‘lgan ikki idish simobli

U-simon naycha orqali tutashtirilgan. Bu holda C nuqtadagi bosim birinchi idishdan bosim orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$p_c = p_a + \gamma_i h_i$$



2.9-rasm. Differentsial manometr.



2.10- rasm. Mikromanometr

Ikkinci idishdagi bosim orqali esa

$$p_c = p_v + \gamma_1 h_2 + \gamma_{sm} h.$$

U holda idishlardagi bosimlar farqi

$$p_a - p_v = \gamma_1 (h_2 - h_1) + \gamma_{sm} h. \quad (2.14)$$

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

$$p_a - p_v = (\gamma_{sm} - \gamma_1) h$$

**g) Mikromanometrlar** - juda kichik bosimlarni o‘lchash uchun ishlataladi va suyuqlik sathining o‘zgarishi sezilarli bo‘lishi uchun suyuqlik to‘ldirilgan idishga shisha naycha qiya burchak ostida ulanadi (2.10-rasm). U holda idishdagi chegirma bosim quyidagicha aniqlanadi:  $p = \gamma h$  bo‘lgani uchun

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

shisha naychaning qiyalik burchagi  $\alpha$  qancha kichik bo‘lsa, bosim shuncha aniq o‘lchanadi. Ko‘p hollarda manometr shisha naychasining qiyalik burchagini

o‘zgaruvchan qilib ishlanadi. Bu holda mikromanometrlarning qo‘llanish chegarasi kengayadi.

d) **Vakuummetrlar.** Tuzilishi xuddi suyuqlik U-simon manometrlariga o‘xshash bo‘lib, idishdagi siyraklanish darajasini aniqlaydi (2.11-rasm). Gidrostatik bosim tenglamasiga asosan

$$p + \gamma_{sm} h_{sm} = p_a$$

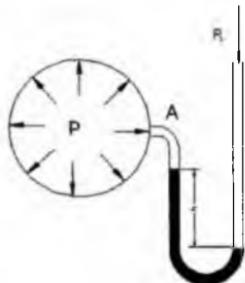
u holda

$$p = p_a - \gamma_{sm} h_{sm}; \quad (2.17)$$

simob ustunining pasayishi idishdagi bosim va  $p_a$  orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$h_{sm} = \frac{p_a - p}{\gamma_{sm}}$$

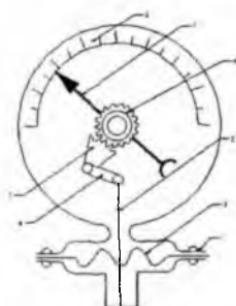
II. **Mexanik asboblar** (katta bosimlarni o‘lchash uchun ishlatiladi va buning uchun turli mexanik sistemalardan foydalilanadi):



2.11-rasm. Vakuummetr



2.12-rasm. Prujinali manometr.



2.13-rasm. Membranal manometr.

a) *Prujinali manometr* (2.12-rasm) ishi bo'sh yupqa egik latun 1 naychadan iborat bo'lib, uning bir uchi kavsharlangan. Shu uchi zanjir 2 bilan tishli uzatma 3 ga ilashtirilgan bo'ladi.

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

b) *Membranali manometr* (2.13-rasm) - yupqa metall plastinka yoki rezina shmdirilgan materialdan tayyorlangan plastinkaga ega bo'lib, u membrana deyiladi. Suyuqlik bosimi idish bilan tutashtiruvchi bo'yincha orqali o'tib, membranani egadi. Bu egilish natijasida richaglar sistemasi orqali strelka harakatga keladi va shkala bo'yicha surilib, bosimni ko'rsatadi.

## 2.9. Paskal qonuni

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

$$p_A = p_0 + \gamma h_A$$

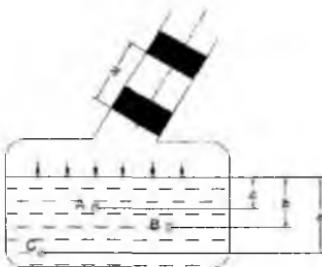
B va C nuqtalarda esa

$$p_B = p_0 + \gamma H_B$$

$$p_C = p_0 + \gamma H_C$$

Agar porshenni  $\Delta$ /masofaga (2.14-rasm) siljitsak, u holda suyuqlik erkin sirtidagi bosim  $\Delta p$  ga o'zgaradi. Suyuqliknинг solishtirma og'irligi bosim o'zgarishi bilan deyarli o'zgarmaydi. Shuning uchun A, B va C nuqtalardagi bosim quyidagicha bo'ladi:

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



**2.14-rasm. Paskal qonunini tushuntirishga doir chizma.**

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

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

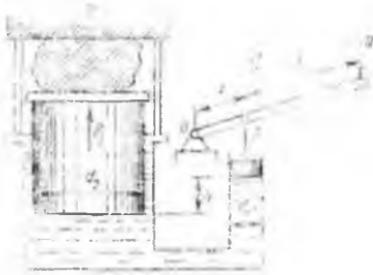
Bundan quyidagicha xulosa kelib chiqadi: *yopiq idishdagi suyuqlikka tashqaridan berilgan bosim suyuqlikning hamma nuqtalariga bir xil miqdorda (o'zgarishsiz) tarqaladi*. Bu Paskal qonuni sifatida ma'lum. Ko'pgina gidromashinalarning tuzilishi ana shu qonunga asoslangan (masalan, gidropress, domkratlar,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

## 2.10. Gidrostatik mashinalar

Gidrostatikaning asosiy qonunlari asosida ishlaydigan mashinalar hidrostatik mashinalar deb ataladi. Ularga gidropresslar, hidroakkumulyatorlar, domkratlar (hidroko'targichlar) va boshqalar kiradi. Quyida ularning ishlash printsiplari haqida qisqacha ma'lumot beramiz.

a) **Gidropresslardan** (2.15-rasm) hidrostatik qonunlar asosida katta kuchlar hosil qilish uchun foydalilanildi. Bu narsa presslash, shtamplash, toplash, materiallarni sinash va boshqa ishlar uchun kerak. Ular ikki xil diametrli o'zaro tutashtirilgan ikki silindr dan iborat bo'lib, birinchi silindrda diametri  $d_1$ , katta silindrda esa diametri  $d_2$  ga teng bo'lgan ikki porshen harakatlanadi. Kichik porshenga OAB richag orqali kuch qo'yiladi. Katta porshenga stol o'rnatilib, bu stol

bilan D devor o'rtafiga presslanuvchi buyum qo'yiladi. Richag qo'l bilan yoki dvigateyl yordamida harakatga keltiriladi. Kichik porshen kuch ta'sirida pastga qarab siljydi va suyuqlikka bosim beradi. Bu bosim katta silindrga ham tarqaladi va natijada stolli porshen harakatga keladi. Bunday harakat stol ustidagi buyum devor D ga taqalguncha davom etadi. Stolning bundan so'nggi ko'tarilishi natijasida buyum siqila boradi va u presslanadi.



### 2.15-rasm. Gidropressning sxemasi.

Aytilgan usuldan faqat jismlarni ko'tarishda foydalanilsa, u holda konstruktiv sxemada D devor bo'lmaydi. Bu holda bizning mashina gidrostatik ko'targichga aylanadi. Endi, hidropresslarda kuchlarning munosabatini topamiz. OAB richagining B uchiga Q kuch qo'yilgan bo'lsin. U holda kuch momenti uchun quyidagi tenglamani olamiz:

$$Q(a+b) = P_1 b.$$

Bu tenglamadan kichik porshenga ta'sir qiluvchi kuchni topamiz:

$$P_1 = \frac{a+b}{b} Q$$

u holda kichik porshen ostidagi suyuqlik bosimi

$$p = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{a+b}{b} \frac{4Q}{\pi d_1^2}$$

ga teng bo'ladi. Katta porshen ostidagi bosim esa

$$p + \gamma h = \frac{a+b}{b} \frac{4Q}{\pi d_1^2} + \gamma h. \quad (2.20)$$

Bu yerda  $h$  porshenlarning ostki sirtlari orasidagi geometrik masofa.

- Natijada katta porshenga ta'sir qiluvchi kuch quyidagicha topiladi:

$$P_2 = (p + \gamma h) \omega_2 = \left( \frac{a+b}{b} \frac{4Q}{\pi d_i^2} + \gamma h \right) \frac{\pi d_i^2}{4}, \quad (2.21)$$

Ko‘pgina hollarda gidropresslarda hidrostatik bosim juda katta bo‘lgani uchun  $\gamma h$  ni tashlab yuborsa ham bo‘ladi, ya’ni:

$$P_2 = \frac{a+b}{b} \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 Q \quad (2.22)$$

Biz keltirgan sxema soddalashtirilgan bo‘lib, gidropresslarda juda ko‘p yordamchi qismlar bo‘ladi. Amalda gidropresslarda suyuqlikni porshen va silindrlar orasidan sizib o‘tishi, tutashtiruvchi quvurlardagi qarshilik kuchi hisobiga katta porshenga ta’sir qiluvchi kuch yuqorida keltirilgan nazariy hisobdan farq qiladi va quyidagi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$P_2^* = \frac{a+b}{b} \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2 Q \eta. \quad (2.23)$$

Bu yerda  $\eta$  yuqorida aytilgan xatoliklarni o‘z ichiga oluvchi koefitsiyent bo‘lib, uni foydali ish koefitsiyenti deb ataladi. Amalda bu koefitsiyent qiymati 0,75 bilan 0,85 o‘rtasida bo‘ladi. Keltirilgan hisobdan ko‘rinib turibdiki, silindrlarning diametrlari va richagning yelkasini tanlab olish yo‘li bilan presslovchi kuchni istagancha katta qilish mumkin. Amalda esa juda katta kuchlar paydo bo‘lganda silindrlar devori deformatsiyalanishi va hatto buzilishi mumkin. Bu esa qo‘srimcha qiyinchiliklar tug‘diradi. Hozirgi vaqtida mavjud gidropresslarda 500 t gacha kuch hosil qilish mumkin, ayrim hollarda esa (mustahkam materiallarni presslashda) kuch 4000-8000 t ga ham yetadi.

**b) Gidroakkumulyatorlar.** Gidravlik sistemalarda bosim va suyuqlik sarfining ortib ketish yoki kamayish hollari bo‘ladi. Bosim va sarfning normallashtirilishi uchun mana shu hollarda gidroakkumulyatorlardan foydalilanadi. Ular suyuqlik sarfi yoki bosim ortib ketganda yuqori bosimli suyuqliknинг bir qismini o‘z ichiga olib, sistemada bosim va sarfni kamaytirlisa, teskarli holda o‘zidagi suyuqlikni sistemaga berish yo‘li bilan bosimni va sarfni oshiradi. Gidroakkumulyatorlar gidrotormozlarda, ko‘targichlar, presslar, shig‘irlar va boshqa gidromashinalarda qo‘llaniladi.

Potentsial energyaning qaysi usul bilan to‘planishi va qaytarib berilishiga qarab pnevmatik, prujinali va yukli gidroakkumulyatorlarga bo‘linadi. Yukli gidroakkumulyatorlar silindr, uning ichida harakatlanuvchi va yuk ortilgan yelka (obkash) li

plunjerdan iborat bo'lib, silindrga gidrosistemaning suyuqlik harakat qiluvchi qismlari quvur orqali tutashtirilgan bo'ladi. Sistemada bosim ortib ketsa, suyuqlik silindrga o'tib yukli plunjerni ko'taradi, bosim kamayganda esa plunjер pastga tushib suyuqlik silindrda sistemaga qarab oqadi. Natijada bosimning o'zgarishi tekislanadi.

2.16-rasmda pnevmatik gidroakkumulyator tasvirlangan. U korpus 1, diafragma 2 dan tuzilgan bo'lib, shtutser 4 orqali gidrosistemaga ulangan bo'ladi. Shtutser 5 gidroakkumulyatorni gaz bilan to'ldirish uchun xizmat qiladi. Shayba 8 esa gazning rezina diafragmani korpusga bosib (akkumulyatorda bosim kamayganda) ezib qo'yishidan saqlaydi.

Diafragmani harakatga keltiruvchi kuch:

$$F_1 = (p_1 - p_2)\omega. \quad (2.24)$$

Suyuqlikda ishqalanish kuchi  $F_2$  mavjud. U holda diafragma ta'sir etuvchi kuch orqali haqiqiy bosim quyidagicha aniqlanadi:

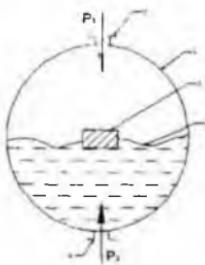
$$p = \frac{(p_1 - p_2)\omega + F_2}{\omega}. \quad (2.25)$$

Bu holda haqiqiy bajarilgan ish

$$A_r = \eta A = \eta \int pshdh \quad (2.26)$$

bu yerda  $\eta$  – gidroakkumulyatorning foydali ish koefitsiyenti.

Gidrosistemadan gidropressga suyuqlik oqib o'tganida yuz beradigan qarshilikni hisobga olish mumkin edi. Bu gidroakkumulyatorga suyuqlik o'tishi tamomlanmagan taqdirdagina kerak. Boshqa hamma hollarda yuqoridagi formula gidroakkumulyatorlarni hisoblash uchun o'rinali bo'ladi.



*2.16- rasm. Pnevmatik hidroakkumulyatorning sxemasi.*

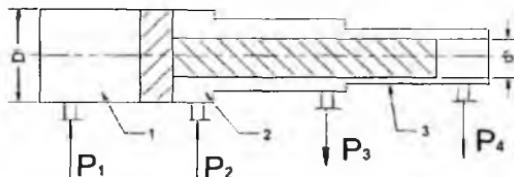
v) **Gidromultiplikatorlar** gidrosistemadagi bosimni, uning biror qismida oshirib berish uchun foydalilanadi. Bu vazifa ko'p hollarda xususan hidroakkumulyatorlar

yetarli bosimni ta'minlab berolmaganda muhim ahamiyatga ega. 2.17-rasmida gidromultiplikatorning soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan. U differentsiyal silindrda harakatlanuvchi differentsiyal porshendan tashkil topgan. Bo'shliq 1 gidrosistemaga ulangan, bo'shliq 2 ortiqcha suyuqlikning oqib ketishi uchun, bo'shliq 3 esa suyuqlikning - gidrosistemaning ish bajaruvchi organiga bog'langan. Bo'shliq 2 dagi chegirma bosimni hisobga olmaganimizda uchinchi bo'shliqdagi bosim quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$p_3 = p_1 \left( \frac{D_1}{d_3} \right)^2 \eta_g \eta_{\text{mex}} \quad (2.27)$$

bu yerda  $\eta_g$  – gidravlik qarshiliklarini hisobga oluvchi koeffitsiyent;  $\eta_{\text{mex}}$  – mexanik qarshiliklarni hisobga oluvchi koeffitsiyent.

Gidromultiplikatorlarning sarfi suyuqlik sarfining miqdoriga qarab hisobga olinadi va ular suyuqlik sarfining kichik qiymatlari uchun ishlataladi. Suyuqlik sarfi katta o'zgarishlarga to'g'ri kelganda bunga qaraganda boshqacharoq sxemalar ishlataladi.



**2.17- rasm. Gidromultiplikatorning chizmasi.**

#### **Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:**

**1- masala.** Benzin bilan to'ldirilgan bak, quyoshda  $50^{\circ}\text{C}$  gacha harorati ko'tariladi. Agar bak absolyut qattiq deb qaralsa benzinning bosimi qanchaga o'zgaradi? Benzinning boshlang'ich harorati  $20^{\circ}\text{C}$ , hajmiy siqilish koeffitsiyenti

$$\beta_w = \frac{1}{1300} \frac{1}{\text{MPa}}$$

issiqlikdan kengayish harorat koeffitsiyenti.

$$\beta_t = 8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

#### **Yechimi:**

Siqilish va haroratdan kengayish formulalaridan foydalanimiz quyidagilarni yozamiz:

$$\beta_w = \frac{W_1}{W} \cdot \frac{1}{P_1} \rightarrow \frac{W_1}{W} = \beta_w P_1$$

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

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

$$\beta_w P_1 = \beta_t t_1$$

$$P_1 = \frac{\beta_t}{\beta_w} \cdot t_1 = 312 \cdot 10^5 Pa$$

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

**Yechish:**

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

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

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

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

Yuqoridagi formulaga olib borsak, burcha quyidagi songa teng bo'ladi:

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

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

**Yechimi:**

1. Gidrostatika asosiy tenglamasining 1-natijasiga asoslanib  $A$  nuqtadagi bosim

$$P_A = P_a + \rho_b gh_1 + \rho g h_2$$

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

Tenglamaning o'ng tomonlarini tenglashtirib,  $h$  ni aniqlaymiz:

$$\rho_b gh_1 + \rho_b gh_2 = \rho_b g (H - h)$$

Ma'lumki,

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

u holda

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

$$h_1 = \frac{\rho g h}{\rho g - \rho_s g} = \frac{\rho h}{\rho - \rho_s} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m}}{300 \text{ kg/m}^3} = 1,0 \text{ m}$$

2. Bakdag'i benzin og'irligi:

$$G = \rho_s g W = \rho_s g \frac{\pi d^2}{4} \cdot h_1 = 22 \text{ kH}$$

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

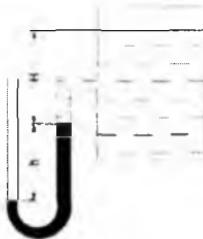
*Yechimi:*

1. (1.2) formuladan S nuqtadagi bosim

$$P_c = P_a - \rho g h$$

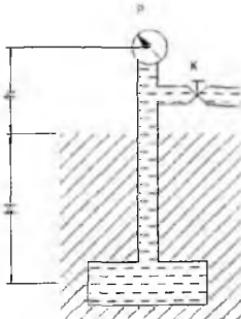
2. Suyuqlik sathidagi bosim

$$P_0 = P_c - \rho g H = P_a - \rho g h - \rho g H = 39952 \text{ kH/m}^2 \approx 40 \text{ kPa}$$



2.18-rasm

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



2.19- rasm.

*Yechimi:*

- Ma'lumki, vakuummetr vakuummetrik bosimni o'chaydi, u holda absolyut bosim quyidagicha aniqlanadi:

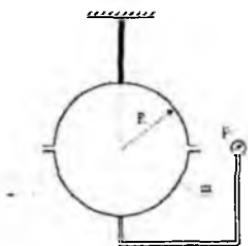
$$P_A = P_a - P_v$$

$$P_A = P_a - P_v = 0,8 \text{ at} = 0,08 \text{ MPa}$$

- C nuqtadagi absolyut bosimni quyidagi formula yordamida hisoblaymiz:

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

**6 – masala.** Suv bilan to'ldirilgan, radiusi  $R = 0,4 \text{ m}$  bo'lgan shar shiftga osib qo'yilgan. Yarim sharning massasi  $m = 150 \text{ kg}$  bo'lsa sharning markazidagi vakuummetrik bosimni aniqlang?



2.20-rasm.

*Yechish.*

- Shar markazidan 1 – 1 kesim belgilab yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \pi R^2 = 3,14 \cdot 0,4^2 = 0,5024 \text{ m}^2$$

- Yarimsharning hajmini aniqlaymiz.

$$W = \frac{2}{3} \cdot \pi R^2 = \frac{2}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,4^2 = 0,133 \text{ m}^3$$

**Berilgan:**

$$R = 0,4 \text{ m}$$

$$G = 1,5 \text{ kN}$$

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

$$P_v = ?$$

3) Vertikal tashkil etuvchi  $P_z$  kuchni aniqlaymiz.

$$F_z = \gamma w \cdot 2 = 10 \cdot 0.133 \cdot 2 = 2.66 \text{ kN}$$

4) Shar markazida  $\alpha$  nuqta belgilab muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$P_a = \frac{P_z + G}{\omega} = \frac{2.66 + 1.5}{0.5024} = 8.28 \text{ kN/m}^2$$

**Javob:**  $P_v = 8.28 \text{ kN/m}^2$

#### Mustaqil yechishga doir masalalar:

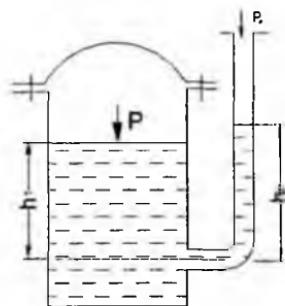
1. Idish tubidagi to'la gidrostatik bosimni toping. Idishning usti ochiq bo'lib, uning erkin sirtidagi bosim atmosfera bosimiga teng.

Aniqlangan gidrostatik bosimni har xil birliklarida ifodalang (**1-jadvaldan foydalanib**).

2. Yopiq idishga o'rnatilgan pezometrdagi suyuqlik sathini  $h_p$  toping. Suv sathidagi absolyut bosim:  $P = 1,06 \text{ at}$ ;  $h_1 = 60 \text{ sm}$ ;  $P_a = 760 \text{ mm simob ustuniga teng}$ . (2.20-rasm).

3. Idishdagi suv sathidagi bosimni aniqlang. Pezometrdagi suyuqlik balandligi  $h_p = 70 \text{ sm}$ ,  $h_1 = 40 \text{ sm}$ ,  $P_a = 100 \text{ kPa}$  (2.21-rasm).

4. U – shakldagi idishga benzin va suv quyilgan. Agar  $h_1 = 70 \text{ sm}$ ;  $h_2 = 50 \text{ sm}$  bo'lsa, benzin zichligini aniqlang (2.22-rasm).



2.21-rasm.



2.22-rasm.

#### Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim kuchi

a) **Gidrostatik g'ayritabiyyilik (paradoks).** Biror idishdagi suyuqlikning chuqurligi  $h$  bo'lsin, u holda ixtiyoriy nuqtadagi bosim uning suyuqlik ichida qancha chuqurlikda bo'lganiga bog'liq bo'ladi. A, B, C nuqtalardagi bosimlar quyidagilarga teng:

$$p_A = \gamma h_A; \quad p_B = \gamma h_B; \quad p_C = \gamma h_C.$$

Suyuqlik tubidagi bosim kuchi esa

$$P = \gamma h \omega$$

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

2-24-rasmda har xil shakldagi idishlar tasvirlangan va barcha idislardagi suyuqliknинг chuqurligi  $h$  ga, idish tubining sirti esa  $\omega$  ga teng.

yuqliknинг chuqurligi  $h$  ga, idish tubining sirti esa  $\omega$  ga teng.

Bu holda idish tubiga bo'lgan bosim kuchi idishlarda

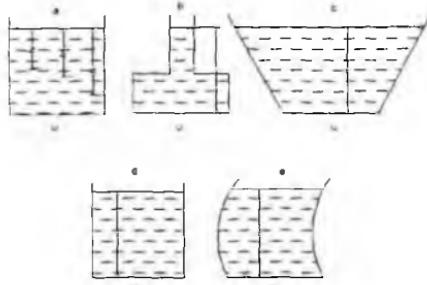
$$P_a = \gamma h \omega; \quad P_b = \gamma h \omega; \quad P_c = \gamma h \omega; \quad P_e = \gamma h \omega \quad (2.28)$$

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

$$P = \gamma h \omega.$$

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

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



**2.24-rasm. Gidrostatik paradoxga doir chizma.**

Bu hodisa gidrostatik g'ayritabiyyilik deb ataladi. Bu savolga javob olish uchun Paskal qonunini chuqurroq talqin qilish kerak. Masalan, 2.24, b va 2.24, c-rasmlarni tekshirsak,

birinchi holda idishning yuqoridagi devorlarida bosim yuqoriga yo'nalgan bo'lib, reaktsiya kuchlari pastga yo'nalgan, 2.24, c da esa aksincha.

Ana shu hodisalar gidrostatik g'ayritabiylilikning mohiyatini olib beradi.

### b) Suyuqlikning qiya sirtga bosimi.

Qo'shimcha qiya tekislikka bo'lgan bosim kuchini aniqlash kerak bo'ladi. Xususiy holda shitlarga ta'sir qiluvchi kuchlarni aniqlash xuddi shunday masalaga olib keladi. Shitlardagi kuchni hisoblash uchun quyidagi masalani ko'ramiz. Suyuqlik bilan to'ldirilgan idish olaylik. Uning gorizont bilan  $\alpha$  burchak tashkil etgan qiya sirtida  $\omega$  yuzaga tushadigan bosim kuchini aniqlaymiz.  $Oy$  o'qini qiya sirt yo'nalishi bo'yicha,  $Ox$  o'qini esa unga tik yo'nalishda deb qabul qilamiz (2.25-rasm). Bu holda  $S$  sirdagi kichik  $d\omega$  sirtgacha bo'lgan bosim quyidagicha aniqlanadi:

$$dP = d\omega(\gamma h + p_0). \quad (2.29)$$

Bu yerda  $\gamma h$  - suyuqlik ustunining bosimi;  $p_0$  - erkin sirtdagagi bosim. U holda  $\omega$  yuzaga ta'sir qilayotgan to'la bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi:

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

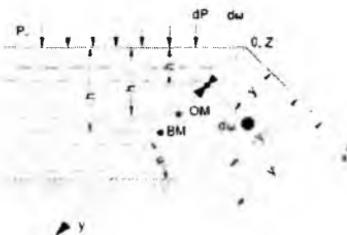
agar

$$h = y \sin \alpha$$

ekanligini hisobga olsak:

$$P_{\omega} = \gamma \sin \alpha \int_{(\omega)} y d\omega + p_0 \int_{(\omega)} d\omega, \quad (2.30)$$

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



**2.25-rasm. Qiya sirtga tushadigan bosimni hisoblashga doir chizma.**

Statik moment haqidagi tushunchaga asosan

$$\int_{(\omega)} y d\omega = \omega y_{OM},$$

bu yerda  $y$  – og‘irlilik markazining koordinatasи. Rasmdan ko‘rinib turibdiki,

$$y_{o.M} \sin \alpha = h_{o.M} .$$

demak,

$$P_s = \omega(\gamma h_{o.M} + p_0). \quad (2.31)$$

Agar to‘liq bosim kuchini atmosfera bosimi va chegirma bosimdan iborat desak

$$P_o = P_a + P_a$$

bo‘ladi, bu yerda chegirma bosim kuchi quyidagi teng:

$$P_u = \gamma h_{o.u} \omega \quad (2.32)$$

Demak, qiya yuzaga tushadigan bosim kuchi shu yuza sirti bilan uning og‘irlilik markaziga ta’sir qiluvchi bosimning ko‘paytmasiga teng bo‘lib, gidrostatik bosim kuchi

$$P_a = P_0 \omega$$

va chegirma bosim kuchi

$$P_u = \gamma h_{o.u} \omega$$

yig‘indisiga teng bo‘ladi. Birinchi kuch yuzaning og‘irlilik markaziga qo‘yilgan bo‘lib, ikkinchi kuch undan pastroqqa qo‘yilgan bo‘ladi.

### s) Bosim markazini topish

Chegirma bosim teng ta’sir etuvchisining qo‘yilish nuqtasi bosim markazi deb ataladi. Bu nuqtani topish shitlarning o‘lchamlarini aniqlash uchun kerak bo‘ladi. Shuning uchun bosim markazi koordinatasini topish shitlarni hisoblashda juda zarur.

2.25-rasmdan bosim markazining koordinatasи  $y_{b.*}$  ga teng deb hisoblab,  $\omega$  sirtga ta’sir

qilayotgan momentni aniqlaymiz:

$$\int_{(\omega)} dP_y = \int_{(\omega)} \gamma h d\omega y \quad (2.33)$$

Rasmdan

$$\omega y_{o.u} = y_{o.u} \sin \alpha, \quad h = y \sin \alpha$$

ekanligi ko‘rinib turibdi. U holda (2.33) munosabatdan quyidagi kelib chiqadi:

$$\int_{(\omega)} \omega y_{o.m} y_{o.u} = \int_{(\omega)} y^2 d\omega = I_i \quad (2.34)$$

bu yerda  $I_v = \int y^2 d\omega$  – ko‘rilayotgan sirtning  $Ox$  o‘qqa nisbatan inertsiya momenti.

U holda (2.34) dan bosim markazini topamiz:

$$y_{o.m.} = \frac{I_v}{\omega y_{o.m.}} \quad (2.35)$$

Inertsiya momentini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I_v = I_{o.m.} + \omega y_{o.m.}^2, \quad (2.36)$$

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

U holda (2.36) ni (2.35) ga qo‘yib, bosim markazini quyidagicha topamiz:

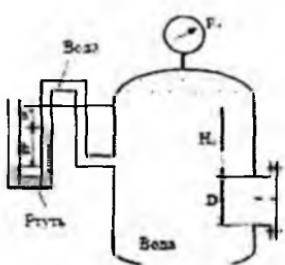
$$y_{o.m.} = y_{o.m.} + \frac{I_{o.m.}}{\omega y_{o.m.}} \quad (2.37)$$

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

### **Amaliy mashg‘ulotlarni bajarishga doir ko‘rsatma:**

**1 – Masala.** Rezervuar qopqog‘iga ta’sir etayotgan GBK ni va bosim markazini quyidagi holatlarda aniqlang.

- Diametri  $D = 1m$ . Manometr ko‘rsatgichi  $P_m = 0.08 \text{ MPa}$   $H_0 = 15m$ . Vakuummetr (simob) ko‘rsatgichi  $h = 73.5 \text{ mm}$   $a = 1m$   $\rho_{sim} = 13600 \text{ kg/m}^3$



2.26-rasm

### **Berilgan**

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

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

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

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

**Yechish**

*Birinchi holat uchun.*

1) Qopqoqning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = P_u + \gamma \cdot h_c = P_u + \gamma \cdot \left( H_0 - \frac{D}{2} \right) = 30 + 10 \cdot \left( 1.5 - \frac{1}{2} \right) = 80 + 10 \cdot 2 \\ = \frac{100 \text{ kN}}{\text{m}^2}$$

2) Qopqoq yuzasini aniqlaymiz.

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

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz

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

*Ikkinchchi holat uchun.*

1) Rezervuardagi suvning sathidagi vakuummetrik bosimni aniqlaymiz.

$$P_v = \gamma_{\text{vaku}} \cdot h + a \cdot \gamma = 136 \cdot 0.0735 + 1 \cdot 10 = 19.996 \neq 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Qopqoqning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = \gamma \cdot h_c - P_v = \gamma \cdot \left( H_0 + \frac{D}{2} \right) - P_v = 10 \cdot (1.5 + 0.5) - 20 = 20 - 20 = 0$$

3) Qopqoqqa ta'sir etayotgan GBK 0 ga teng.

$$F = P_c \cdot \omega = 0 \cdot \omega = 0$$

**Javob:**  $F = 0$

2. Qopqoq o'lchamlari  $a = 1,0 \text{ m}$ ;  $b = 1,2 \text{ m}$ ; suyuqlik zichligi  $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$  va rezervuarga o'rnatilgan manometrning ko'rsatishi  $P_m = 0,08 \text{ MPa}$ ;  $H_0 = 1,5 \text{ m}$ . Cimobli vakuummetr inobatga olinmasin.

**Yeshimi:**

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

Formuladan ixtiyoriy nuqtadagi bosim:

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

bu yerda:  $P_0$  – tashqi bosim,  $P_0 = P_m + P_a$

U holda

$$P_c = P_u + P_a + \rho g \left( H_0 + \frac{a}{2} \right)$$

3. Tekis shakl yuzasini aniqlaymiz:

$$\omega = ba$$

4. Gidrostatik bosim kuchini aniqlaymiz:

$$F = P_c \cdot \omega = \left[ P_m + P_a + \rho g \left( H_0 + \frac{a}{2} \right) \right] \cdot ab$$

Berilgan qiymatlarni qo'yib, gidrostatik bosim kuchini hisoblaymiz:

$$F = \left[ 0,08 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + 700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (1,5\text{m} + 0,5\text{m}) \right] \cdot 1,2\text{m}^2 = \\ = 232800 \text{N} = 233 \text{kN}$$

5. Bosim markazini aniqlaymiz:

$$h_D = h_C + \frac{J_0}{h_c \omega}$$

Bu yerda:

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

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

$$h_D = \left( H_0 + \frac{a}{2} \right) + \frac{ba^3}{\left( H_0 + \frac{a}{2} \right) 12ba} = 2 + \frac{1}{24} = 2,06 \text{ m}$$

Endi bosim markazini aniqlashni boshqa hollarda ham ko'ramiz.

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

bu yerda:  $H_0 = 1,5$

$$a = 1,4 \text{ m}$$

$$b = 1,2 \text{ m}$$

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

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

u holda

$$h_D = z_D \cdot \sin \alpha = 2,17 \text{ m}$$

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

$$h_D = \frac{J_0^{\frac{1}{2}}}{h_c \omega^2} + h_c$$

Bu yerda:  $J_0^{\frac{1}{2}}$  – tekis shakl proyektsiyasining inertsiya momenti;  
 $\omega_1$  – tekis shaklning vertikal tekislikka proyektsiyasi.

U holda,

$$h_D = 2,17 \text{ m}$$

**2– Masala.** O‘chamlari  $L * B = 2.5 * 10 \text{ m}$  bo‘lgan darvoza (zatvor) chuqurligi  $H = 2.3 \text{ m}$  bo‘lgan suvni to‘sib turibdi.

Aniqlansin:

- Trossdagi kuchlanish (zotvor og‘irligi hisobga olinmasin)
- Sharnirdagi reyaktsiya kuchi R.

**Berilgan:**

$$L = 2.5 \text{ m}$$

$$B = 10 \text{ m}$$

$$H = 2.3 \text{ m}$$

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

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

**Yechish:**

- Zatvorning og‘irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

- Yuzani aniqlaymiz.

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

- Ta’sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F = P_c \cdot \omega = 11.5 \cdot 25 = 287.5 \text{ kN}$$

- Bosim markazini aniqlaymiz

$$Z_d = Z_c + \frac{J}{Z_c \cdot \omega}$$

$$Z_c = \frac{H}{2} \cdot \frac{L}{H} = \frac{2.5}{2} \cdot 1.25 \text{ m}$$

$$\omega = 2.5 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{B \cdot L^2}{12} = \frac{10 \cdot 2.5^3}{12} = 13$$

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

$$T \cdot L - F \cdot (L - Z_d) = 0$$

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

6) Sharnirdagi R reaksiya kuchini aniqlaymiz.

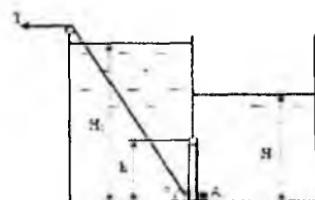
$$\sum M_A = 0$$

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

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

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

**3 – Masala.** Ikki qismga ajratilgan rezervuar o‘rtasiga bo‘yi  $h = 0.4 \text{ m}$ , eni  $b = 0.8 \text{ m}$  bo‘lgan shit o‘rnatilgan. Suvning chiqqurliklari  $H_1 = 1.6 \text{ m}$ ,  $H_2 = 1.0 \text{ m}$ ,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Shitni ochish uchun kerak bo‘lgan T kuchi va A tayanchdag‘i reaksiya kuchini aniqlang.



**Berilgan:**

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

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

$$\alpha = 60$$

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

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

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

---


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

**Yechish:**

1) Chap tomonidan shitning og‘irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz

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

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = a \cdot b = 0.4 \cdot 0.8 = 0.32 \text{ m}^2$$

3) Ta’sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_1 = P_c \cdot \omega = 14 \cdot 0.32 = 4.48 \text{ kN}$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d1} = h_c \frac{J}{h_c \cdot \omega}$$

$$h_c = 1.4 \text{ m} \quad \omega = 0.32 \text{ m}^2$$

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

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

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

$$P_c = v \cdot h_c = \gamma \cdot \left( H_2 - \frac{h}{2} \right) = 10 \cdot \left( 1 - \frac{0.4}{2} \right) = 10 \cdot 0.3 = 8 \text{ kN/m}^2$$

6) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = a \cdot b = 0.4 \cdot 0.8 = 0.32 \text{ m}^2$$

7) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_2 = P_c \cdot \omega = 8 \cdot 0.32 = 2.56 \text{ kN}$$

8) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d2} = h_c + \frac{J}{h_c \cdot \omega}$$

$$h_c = 0.8 \text{ m} \quad \omega = 0.32 \text{ m}^2$$

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

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

9) T kuchini aniqlash uchun sharnir turgan nuqtani 0 deb belgilab moment olamiz.

$$T \cdot h \cdot \cos\alpha - F_1 \cdot [h_{d1} - (H_1 - h)] + F_2 \cdot [h_{d2} - (H_2 - h)] = 0$$

$$\begin{aligned} T &= \frac{F_1 \cdot [h_{d1} - (H_1 - h)] + F_2 \cdot [h_{d2} - (H_2 - h)]}{h \cdot \cos\alpha} \\ &= \frac{14 \cdot [1.409 - (1.6 - 0.4)] - 8 \cdot [0.816 - (1 - 0.4)]}{0.4 \cdot 0.5} \\ &= \frac{14 \cdot 0.209 - 8 \cdot 0.216}{0.2} = \frac{2.926 - 1.728}{0.2} = \frac{1.198}{0.2} = 6 \text{ kN} \end{aligned}$$

10) A nuqtadagi reaksiya kuchini aniqlaymiz.

$$\sum M_C = 0$$

$$R_A \cdot h - F_1 \cdot [h_{d1} - (H_1 - h)] + F_2 \cdot [h_{d2} - (H_2 - h)] = 0$$

$$R_A = \frac{F_2 \cdot [h_{d2} - (H_1 h)] - F_1 \cdot [h_{d1} - (H_2 - h)]}{h} = \frac{2.926 - 1.728}{0.4} = \frac{1.198}{0.4} = 4.95 \text{ kN}$$

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

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

**Berilgan:**

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

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

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

$$x = ?$$

**Yechish:**

1) Shitning og‘irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz

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

2) Yuzasini aniqlaymiz.

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

3) Ta’sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F = P_c \cdot \omega = 20 \cdot 24 = 480 \text{ kN}$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

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

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

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

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

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

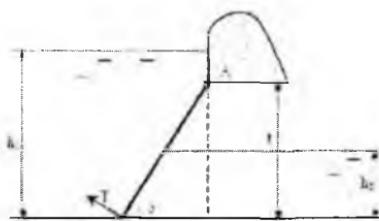
**5 – Masala.** To‘g‘onning suv chiqish qismida eni  $b = 6 \text{ m}$  bo‘lgan shit o‘rnataligan. Yuqori b’efda suv chuqurligi  $h_1 = 23 \text{ m}$ , pastki b’efda esa  $h_2 = 11.5 \text{ m}$ , chiqish qismi balandligi  $t = 17.25 \text{ m}$ . Qiyalik  $\alpha = 45^\circ$ . Shit A o‘qi atrofida aylanadi.

Aniqlanishi kerak.  $G = 1000 \text{ kH}$

a) Shitga ta’sir etayotgan GBK  $P_1$  va  $P_2$



- b) Umumiy GBK  $P$   
 c) Umumiy kuch bosim markazi.  
 d) Shitni qo‘zg‘atuvchi T kuchi.



### Berilgan

$$\begin{aligned} h_1 &= 23 \text{ m} \\ h_2 &= 11.5 \text{ m} \\ t &= 17.25 \text{ m} \\ b &= 6 \text{ m} \\ \alpha &= 45^\circ \\ G &= 100 \text{ kN} \\ \gamma &= 10 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

### Yechish:

- 1) Yuqori b’efdan shitning og‘irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{t}{\sin \alpha} \cdot b = \frac{17.5}{0.707} \cdot 6 = 148.5 \text{ m}^2$$

- 3) Ta’sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_1 = P_c \cdot \omega = 142.5 \cdot 148.5 = 21161.25 \text{ kN}$$

- 4) Pastki b’efdan shitning og‘irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{h_2}{2} = 10 \cdot \frac{11.5}{2} = 57.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- 5) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{h_2}{\sin \alpha} \cdot b = \frac{11.5}{0.707} \cdot 6 = 97.9 \text{ m}^2$$

- 6) Ta’sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_2 = P_c \cdot \omega = 57.5 \cdot 97.6 = 5612 \text{ kN}$$

- 7) Shitga ta’sir etayotgan umumiy GBK ni aniqlaymiz.

$$\Sigma_x = F_{um} = F_1 - F_2 = 21161.25 - 5612 = 15549.25 \text{ kN}$$

- 8) Yuqori b’efdagagi bosim markazini aniqlaymiz.

$$Z_{n1} = Z_c + \frac{J}{Z_c \cdot \omega}$$

$$Z_c = \frac{h_c}{\sin\alpha} = \frac{14.25}{0.707} = 20.15 \text{ m}$$

$$\omega = 148.5 \text{ rad/s}$$

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

$$Z_{d1} = 20.15 + \frac{7262.38}{20.15 \cdot 148.5} = 22.57 \text{ m}$$

9) Pastki b'efdagi bosim markazini aniqlaymiz.

$$Z_{d1} = Z_c + \frac{J}{Z_c \cdot \omega} = 8.13 + \frac{2151.8}{8.13 \cdot 97.6} = 10.84 \text{ m}$$

$$Z_c = \frac{h_c}{\sin\alpha} = \frac{5.75}{0.707} = 8.13 \text{ m}$$

$$\omega = 97.6 \text{ rad/s}$$

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

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

$$\Sigma M_O = 0$$

$$F_{um} \cdot l = F_1 \cdot \left[ Z_{d1} - \left( \frac{h_1 - t}{\sin\alpha} \right) \right] - F_2 \cdot \left[ Z_{d2} + \left( \frac{t - h_2}{\sin\alpha} \right) \right]$$

$$l = \frac{F_1 \cdot \left[ Z_{d1} - \left( \frac{h_1 - t}{\sin\alpha} \right) \right] - F_2 \cdot \left[ Z_{d2} + \left( \frac{t - h_2}{\sin\alpha} \right) \right]}{F_{um}}$$

$$= \frac{21161.25 \cdot \left[ 22.57 - \left( \frac{23.5 - 17.25}{0.707} \right) \right] - 5612 \cdot \left[ 10.84 + \left( \frac{17.25 - 11.5}{0.707} \right) \right]}{15549.25}$$

$$= \frac{21161.25 \cdot 13.73 - 5612 \cdot 8.97}{15549.25} = \frac{18084.32}{15549.25} 11.83 \text{ m}$$

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

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

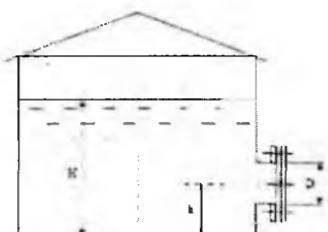
$$\Sigma M_O = 0$$

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

$$T = \frac{F_{um} \cdot l - G \cdot \frac{t}{2 \cdot \sin\alpha}}{\frac{t}{\sin\alpha}} = \frac{15549.25 \cdot 11.83 - 100 \cdot \frac{17.25}{2 \cdot 0.707}}{\frac{183947.62 - 1219.94}{24.398}} = 7489.4 \text{ kN}$$

**Javob:**  $F_1 = 21161.25 \text{ kN}$        $F_2 = 5612 \text{ kN}$

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



**Berilgan:**

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

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

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

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

$$n = 12$$

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

$$d = ?$$

- 1) Qopqoqning og‘irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot (H - h) = 8.6 \cdot (8 - 0.5) = 0.86 \cdot 7.5 = 64.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = 0.785 \cdot 0.75^2 = 0.44 \text{ m}^2$$

- 3) Ta’sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F = P_c \cdot \omega = 64.5 \cdot 0.44 = 28.48 \text{ kN}$$

- 4) Kuchni boltlarga taqsimlaymiz.

$$Q = \frac{F}{n} = \frac{28.48}{12} = 2.37 \text{ kN} = 237 \text{ kgk}$$

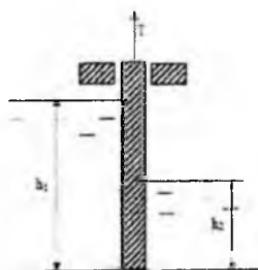
- 5) Cho‘zilish va siqilish defarmatsiyasiga asosan, ruxsat etilgan kuchdan foydalanim boltlar diametrini aniqlaymiz.

$$6 \frac{Q}{\omega_5} \leq [6] \quad \omega_5 = \frac{Q}{[6]} \quad \omega_5 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{Q}{[6]} \cdot \frac{4}{\pi}} = \sqrt{\frac{237}{700} \cdot \frac{4}{3.14}} = 0.65 \text{ sm}$$

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

- 7 – Masala.** Suvni to‘sib turgan zatvorning o‘lchamlari: bo‘yi  $a = 4 \text{ m}$ , eni  $b = 2 \text{ m}$  va qalinligi  $c = 0.2 \text{ b}$  chap tomonidagi suvning chuqurligi  $h_1 = 3 \text{ m}$ , o‘ng tomonidagi suvning chuqurligi  $h_2 = 1.5 \text{ m}$ . Zatvor metaldan



tayyorlangan  $\gamma_m = 75 \text{ kN/m}^3$ . Ishqalanish koeffitsiyenti  $f = 0.4$ . Suvning solishtirma og'irligi og'irligi  $\gamma = 10 \text{ kg/m}^3$  bo'lsa zatvorni ko'taruvchi dastlabki kuch T ni aniqlang?

**Berilgan:**

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

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

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

$$f = 0.4$$

$$T = ?$$

1) Chap tomonidan zatvorning og'irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = h_1 \cdot b = 3 \cdot 2 = 6 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_1 = P_{c1} \cdot \omega = 15 \cdot 6 = 90 \text{ kN}$$

4) O'ng tomonidan shitning og'irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz,

$$P_{c2} = \gamma \cdot h_{c2} = \gamma \cdot \frac{h_2}{2} = 10 \cdot \frac{1.5}{2} = 10 \cdot 0.75 = 75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

5) Yuzasini aniqlaymiz.  $\omega = h_2 \cdot b = 1.5 \cdot 2 = 3 \text{ m}^2$

6) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_2 = P_{c2} \cdot \omega = 7.5 \cdot 3 = 22.5 \text{ kN}$$

7) Zatvoring og'irlilik kuchini aniqlaymiz.

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

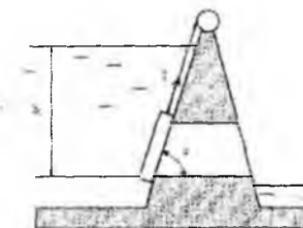
8) Zatvorni ko'taruvchi T kuchni aniqlaymiz.

$$T \geq G + (F_1 + F_2) \cdot f = 240 + (90 + 22.5) \cdot 0.4 = 240 + 45 = 285$$

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

**8 – Masala.** To'g'onda suvning chiqish qismini to'sib turuvchi shitning balandligi  $a = 2 \text{ m}$ , eni  $B = 1.6 \text{ m}$ , qalinligi  $c = 0.25b$ ,  $\alpha = 60^\circ$ . Shitning pastki

qismigacha bo‘lgan chuqurlik  $h_1 = 10m$ , shitning massasi  $m = 2 t$ , ishqalanish  $f = 0.3$  suvning solishtirma og‘irligi  $\gamma = 10 \text{ kH/m}^3$  bo‘lsa shitni ko‘taruvchi  $T$  kuchni aniqlang?



**Berilgan:**

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

$$\alpha = 60^\circ \quad m = 2T \quad f = 0.3 \quad \gamma = 10 \text{ kN/m}^3 = 1 \text{ Tk/m}^3$$

$$T = ?$$

**Yechish:**

1) Shitning 0 og‘irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \left( h_1 - \frac{a}{2} \right) = 1 \cdot \left( 10 - \frac{3}{2} \right) = 1 \cdot 9 = 9 \cdot \frac{\text{Tk}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{a}{\sin \alpha} \cdot b = \frac{2}{0.866} \cdot 1.6 = 3.7 \text{ m}^2$$

3) Shitga ta’sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F = P_c \cdot \omega = 9 \cdot 3.7 = 33.25 \text{ Tk}$$

4) Shitni ko‘taruvchi kuch Arximed kuchini aniqlaymiz.

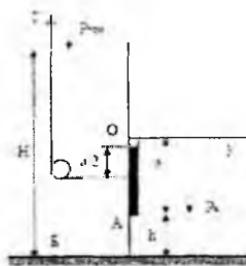
$$P_A = \gamma \cdot W = \gamma \cdot a \cdot b \cdot 0.25b = 1 \cdot 2 \cdot 1.6 \cdot 0.4 = 1.28 \text{ Tk}$$

5) Shitni yuqoriga ko‘taruvchi T kuchni aniqlaymiz.

$$T \geq m \cdot \cos \alpha + F \cdot f - P_A = 2 \cdot 0.5 + 33.25 \cdot 0.3 - 1.28 = 1 + 9.975 - 1.28 = 9.7 \text{ Tk}$$

**Javob:**  $T \geq 9.7 \text{ Tk} = 97 \text{ kN} = 97000 \text{ N}$

**9 – Masala.** Б Rezervuardan suvni chiqiarish uchun A zatvorni ochish uchun kerak bo‘lgan T kuchni aniqlang. O‘lchamlari: eni  $b = 0.6 \text{ m}$ , balandligi  $a = 1.2 \text{ m}$ . Suvning chuqurligi  $H = 10 \text{ m}$ . Kameradagi bosim  $P_k = 0.01 \text{ at} = 1000 \text{ Pa}$ ,  $h = 0.8 \text{ m}$



**Berilgan**

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

$$b = 0.6 \text{ m}$$

$$H = 10 \text{ m}$$

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

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

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

$$T = ?$$

**Yechish:**

- 1) Zatvorming og irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

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

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = ab = 1.2 \cdot 0.6 = 0.72 \text{ m}^2/\text{s}$$

- 3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F = P_c \cdot \omega - P_K \cdot \omega = (P_c - P_K) \cdot \omega = (186 - 1) \cdot 0.72 = 185 \cdot 0.72$$

$$= 133.2 \text{ kN}$$

- 4) Bosim markazini aniqlaymiz.

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

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

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

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

- 5) T kuchini aniqlash uchun 0 nuqtaga nisbatan moment olamiz.

$$\Sigma M_0 = 0$$

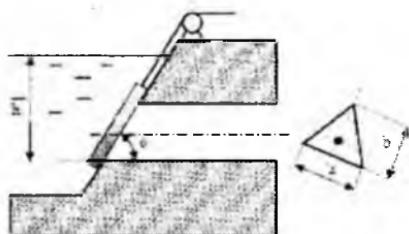
$$T \cdot \frac{a}{2} - F \cdot (h_d - H - h - a) = 0$$

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

$$= \frac{133.2 \cdot 1.22}{1.2} 135.42 \text{ kN}$$

**Javob:**  $T \geq 135.4 kN = 13.54 TK$

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



**Berilgan**

$$h = 9.5 m$$

$$a = 1.2 m$$

$$b = 1.5 m$$

$$\alpha = 45^\circ$$

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

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

**Yechish:**

1) Zatvorning og'irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{a \cdot b}{2} = \frac{1.2 \cdot 1.5}{2} = 0.9 m^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz

$$F = P_c \cdot \omega = 91.4 \cdot 0.9 = 82.26 kN$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$Z_d = Z_c + \frac{J}{Z_c \cdot \omega}$$

$$Z_c = \frac{h_c}{\sin\alpha} = \frac{0.14}{0.707} = 12.92 m$$

$$\omega = 0.9 m^2$$

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

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

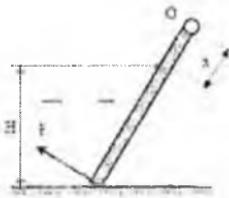
**Berilgan:**

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

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

$$\alpha = 60^\circ$$

$$Q = ?$$



**Yechish:**

- 1) Shitning og'irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

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

- 3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

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

- 4) Bosim markazini aniqlaymiz.

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

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

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

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

- 5) Q kuchni aniqlash uchun 0 nuqtaga nisbatan moment olamiz.

$$\Sigma m_0 = 0$$

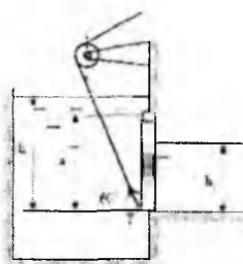
$$Q \cdot \left( \frac{H}{\sin \alpha} \cdot a \right) - F \cdot (Z_d + a) = 0$$

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

**Javob:**  $Q \geq 11.83 \text{ kN} = 1.18 \text{ T}k$

**12 – Masala.** Rezervuarda suvni to'sib turgan shitning o'lchamlari  $a = 3 \text{ m}$ ,  $b = 4 \text{ m}$ . Chap tomondagи suvning chuqurligi  $h_1 = 5 \text{ m}$ , o'ng tomonda esq  $h_2 = 2 \text{ m}$ . Suvning

solishtirma og 'irligi  $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ . Shit O nuqtadagi sharnir atrofida aylanadi. Shitni dastlabki ko'taruvchi kuch T ni aniqlang.



**Berilgan:**

$$h_1 = 5 \text{ m}$$

$$h_2 = 2 \text{ m}$$

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

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

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

$$\alpha = 60^\circ$$

$$T?$$

**Yechish:**

- Dastlabki rezervuarining chap tomonidan shitning og 'irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

- Yuzasini aniqlaymiz.

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

- Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_1 = P_c \cdot \omega = 35 \cdot 12 = 420 \text{ kN}$$

- Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d1} = h_c + \frac{J_{ox}}{h_c \cdot \omega}; \quad h_c = 3.5 \text{ m};$$

$$J_{ox} = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{4 \cdot 3^3}{12} = \frac{108}{12} = 9;$$

$$h_{d1} = 3.5 + \frac{9}{3.5 \cdot 12} = 3.71 \text{ m}$$

- O'ng tomonidan shitning og 'irlilik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

- Yuzasini aniqlaymiz.

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

- Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz

$$F_2 = P_c \cdot \omega = 10 \cdot 8 = 80 \text{ kN}$$

- Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d2} = h_c + \frac{J_{c\alpha}}{\rho_c \omega}; \quad h_c = 1 \text{ m} \quad \omega = 8 \text{ m}^2$$

$$J_{c\alpha} = \frac{b \cdot h_c^3}{12} = \frac{4 \cdot 8^3}{12} = \frac{32}{12} = 2.66$$

$$h_{d2} = 1 + \frac{2.66}{1+8} = 1.33 \text{ m}$$

9) T kuchni aniqlash uchun sharnir turgan 0 nuqtaga nisbatan moment olamiz.

$$\Sigma M_0 = 0$$

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

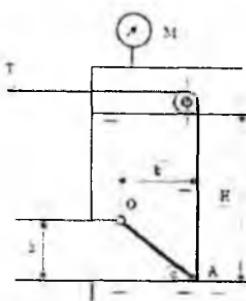
Bundan:

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

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

**Mustaqil yechishga doir masalalar:**

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



**Berilgan**

$$H = 0.85 \text{ m}$$

$$h = 0.3 \text{ m}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$P_M = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$\gamma = 7 \text{ kN/m}^3$$

$$T-?$$

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

**14 – Masala.** Ikki qismiga ajralgan rezervuar o'rtafiga kvadrat shakildagi  $a \cdot a = 0.6 \times 0.6 \text{ m}^2$  shit(darvoza) quyilgan. O'ng tomonidagi suvning sathi  $H_l = 2 \text{ m}$ , ga

etishi bilan shit avtomatik tarzda ochilishi uchun sharnir berilgan o'qdan qancha masofada- $x$  bo'lishi kerak? Chap tomonagi suv sathi o'zgarmas  $H_2=1m$ . Sharnirdagi reaksiya kuchini  $R_0$  aniqlang.



### Berilgan

$$H_1 = 2 \text{ m}$$

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

$$a = 0.6 \text{ m}$$

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

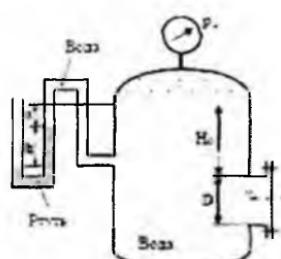
$$x = ? \quad R_0 = ?$$

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

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

a) Manometr ko'rsatgichi  $P_m = 0.08 \text{ MIIa}$   $H_0 = 15 \text{ m}$ .

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



### Berilgan

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

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

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

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

**Javob:**  $F = 0$

## 2.12. Egri sirtlarga ta'sir qiluvchi bosim

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

$$p = p_u + p_0 \tag{2.38}$$

Uni hisoblash uchun egri sirtda kichkina  $d\omega$  yuza olamiz. Koordinata o'qlarini rasmida ko'rsatilgandek yo'naltiramiz. U holda kichkina yuzaga tushadigan bosim  $dP, dP_x$  va  $dP_y$  proyektsiyalarga ega bo'ladi.  $d\omega$  yuzaning  $xOz$  va  $yOz$  tekisliklardagi proyektsiyalari

esa  $d\omega_x$  va  $d\omega_y$  ga teng. Kichkina yuzaga tushadigan bo'lgan bosim yuqorida ko'ranimizdek quyidagicha ifodalanadi:

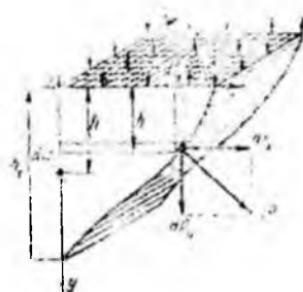
$$dP = \gamma h d\omega.$$

Uning gorizontal tashkil etuvchisi esa

$$dP_x = dP \cos \alpha = \gamma h d\omega \cos \alpha$$

Ikkinci tomondan  $d\omega$  sos  $\alpha = d\omega_y$  bo'lgani uchun

$$dP_x = \gamma h d\omega_v.$$



**2.34- rasm. Egri sirtga tushadigan bosimni tushuntirishga doir chizma.**

Egri sirtga ta'sir etayotgan to'liq bosimning proyektsiyasini topish uchun  $S_y$  yuza bo'yicha integral olamiz:

$$P_x = \int_{(\omega_v)} \gamma h d\omega_y = \gamma \int_{(\omega_v)} h d\omega_v, \quad (2.39)$$

lekin  $\int_{(\omega_v)} h d\omega_v - \omega_v$  yuzaning Oz o'qqa nisbatan statik momentidir.

Shuning uchun

$$\int_{(\omega_v)} h d\omega_y = \omega_v h_0,$$

bu yerda  $\omega_y$  - egri sirtning yOz o'qdagi proyektsiyasi;  $h_0$  -  $\omega$  yuza og'irlik markazining

chuqurligi;  $h_0 = \frac{h_1}{2}$ . Shunday qilib, egri sirtga tushadigan bosimning gorizontal tashkil etuvchisi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$P_x = \gamma \omega_y h. \quad (2.40)$$

Bu formula tekis sirtlarga tushadigan bosimni hisoblash formulasiga o‘xshaydi va undan faqat  $\omega_y$  yuza egri sirtning  $yOz$  tekislikdagi proyektsiyasi ekanligi bilan farq qiladi.

Endi, egri sirtga tushadigan bosimning vertikal tashkil etuvchisini topamiz.

### 2.34-rasmdan

$$dP_v = dP \sin \alpha = \gamma h \omega \sin \alpha,$$

Ammo  $d\omega \sin \alpha = d\omega_x$  bo‘lgani uchun

$$dP_v = \gamma h d\omega_x.$$

Integrallash yo‘li bilan  $P_y$  ni topamiz:

$$P_v = \int_{\omega(x)} \gamma h d\omega_x = \gamma \int_{\omega(x)} h d\omega_x = \gamma W,$$

bu yerda  $W = \int_{\omega(x)} h d\omega_x$  – egri sirt, uning chegarasidagi vertikal va erkin sirtlar orasidagi

hajmdan iborat bo‘lib, bosuvchi jism deb ataladi.

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

$$P_y = \gamma W. \quad (2.41)$$

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

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}. \quad (2.42)$$

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

$$\cos \alpha = \frac{P_x}{P} \quad \text{yoki} \quad \sin \alpha = \frac{P_y}{P} \quad \text{yoki} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{P_y}{P_x}.$$

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

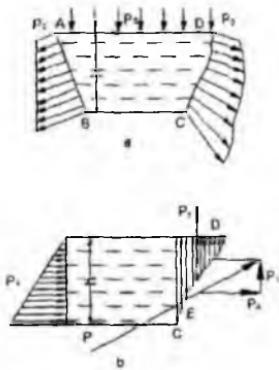
## 2.13. Bosim epyurasi

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

a) **Tekis sirt.** Tekis sirtning erkin sirt bilan tutashgan yeridagi bosim erkin sirdagi bosimga teng (2.35- rasm). Uning qolgan nuqtalarida esa erkin sirtdagagi bosimga chegirma bosim qo'shiladi. Gidrostatikaning asosiy tenglamasiga asosan

$$p = p_0 + \gamma h$$

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



2.35-rasm. Bosim epyurasi

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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\gamma h} = \frac{1}{\gamma}.$$

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

b) **Egri sirtda** bosim ikki tashkil etuvchiga ega bo'lib (2.35-rasm, b),  $P_x$  tasnikil etuvchisi tekis sirdagi kabi epyuraga ega bo'ladi.  $P_y$  ning epyurasi esa egri sirt bilan erkin sirt orasidagi soha shakliga ega bo'ladi. Teng ta'sir etuvchi kuch yoki to'liq bosimning qo'yilish nuqtasi va kattaligini grafik usulda topish mumkin. Buning uchun

$P_x$  tashkil etuvchining yo'nalishini  $P_y$  ning yo'nalishi bilan kesishguncha davom ettiramiz. Kesishgan nuqtasiga esa  $P_x$  va  $P_y$  larni keltirib qo'yamiz va parallelogramm hosil qilamiz. Uning diagonali yo'nalishini egrи sirt bilan kesishguncha davom ettirib, kesishish nuqtasiga suyuqlik tomondan hosil bo'lган  $P$  kuchni keltirib qo'yamiz  $E$  nuqta bosim markazi yoki teng ta'sir etuvchi kuchning qo'yilishi nuqtasini bo'ladi.

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

### Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

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

#### Aniqlang:

A Boltdagi kuchlanish, 1 – 1 kesimdagи GBK ning gorizontal tashkil etuvchisini.

#### Berilgan;

$$D = 2.6 \text{ m};$$

$$H = 4.5 \text{ m};$$

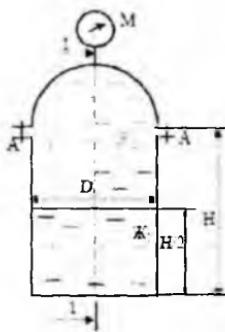
$$P_m = 10 \text{ kN/m}^2;$$

$$\gamma_1 = 11.5 \text{ kN/m}^3;$$

$$\gamma_2 = 10.6 \text{ kN/m}^3;$$

$$R = 1.3 \text{ m};$$

$$P_x = ? \quad P_A = ?$$



2.36-rasm

#### Yechish:

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

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

2) A boltdagi kuchlanishni aniqlaymiz

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

3) 1 – 1 kesimdagи gorizontal tashkil etuvchi  $P_x$  ni aniqlaymiz.

$$F_x = F_2 + F_1$$

$$F_2 = P_c \cdot \omega = (P_M + \gamma_2 \cdot h_c) \cdot \omega = \left[ P_M + \gamma_2 \cdot \left( \frac{\frac{H}{2} + R}{2} \right) \right] \cdot \left( D \cdot \frac{H}{2} + \frac{\pi R^2}{2} \right)$$

$$= \left[ 10 + 106 \cdot \left( \frac{2.25 + 1.3}{2} \right) \right] \cdot \left( 2.3 \cdot 2.25 + \frac{3.14 \cdot 1.3^2}{2} \right) = 28.8 \cdot 8.5 = 244.9 \text{ kN}$$

$$F_1 = P_c \cdot \omega = (P_M + \gamma_2 \cdot h + \gamma_1 h_c) \cdot \omega = \left[ P_M + \gamma_2 \cdot \left( \frac{H}{2} + R \right) + \gamma_1 \cdot \frac{H}{2} \right] \cdot \left( D \cdot \frac{H}{2} \right)$$

$$= [10 + 10.6 \cdot (2.25 + 1.3) + 11.5 \cdot 1.125] \cdot 2.6 \cdot 2.25 = 60.25 \cdot 5.85 = 354.5 \text{ kN}$$

$$F_x = P_2 + P_1 = 244.9 + 354.2 = 599 \text{ kN}$$

**Javoblar:**  $F_x = 599 \text{ kN}$        $P_A = 26.5 \text{ kN}$

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

- a) Rezervuar tubiga ta'sir etayotgan manometrik bosim kuchini aniqlang;
- b) ABC – devorga ta'sir etayotgan GBKnini aniqlang.

**Yechish:**

1. Idish tubidagi manometrik bosimni aniqlaymiz.

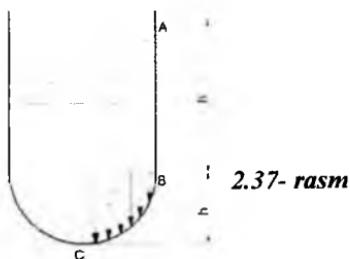
$$P_2 = P_a + \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$P_{2m} = P_2 - P_a \rightarrow P_a + \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2) - P_a = \rho \cdot g \cdot (h_1 + h_2)$$

$$= 1000 \cdot 9.81 \cdot (4 + 2) = 58860 \text{ Pa} = 0.6 \text{ atm}$$

$$F_{AB} = P_{c,g}(AB) \cdot \omega_{AB} = (P_a + \rho \cdot g \cdot h_1) \cdot h_1 \cdot d$$

$$= (98100 + 1000 \cdot 9.81 \cdot 4) \cdot 4 \cdot 4 = 2.2 \text{ MN}$$



2.37- rasm

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

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

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

$$P_{z(BC)} = W_{B,T} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{1}{3} \cdot 3.14 \cdot 2^3 = 8.37 N$$

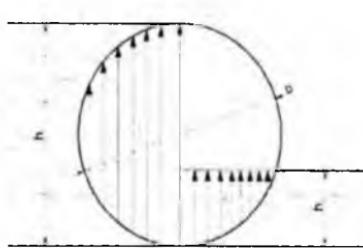
5. BC devorga ta'sir etayotgan GBK quyidagicha aniqlanadi:

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

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

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

**3 - Masala.** Diametri  $D = 2 m$  va uzunligi  $L = 5 m$  bo'lgan silindrik darvazaga ta'sir etayotgan kuchning miqdori va yo'nalishini aniqlang.



2.38- rasm

Agar:

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

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

### Yechish:

1.  $P_{1x}$  ni quyidagicha aniqlaymiz.

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

2.  $P_{1z}$  ni quyidagicha aniqlaymiz.

$$P_{1z} = W_{B,T} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{1}{3} \cdot 3.14 \cdot 1^3 = 2.1 N$$

3.  $P_1$  ni qiyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz.

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

4.  $P_{2x}$  ni quyidagicha aniqlaymiz.

$$P_{2x} = \frac{j_{12} \cdot y \cdot h_2}{2} = \frac{1 \cdot 9810 \cdot 1}{2} = 4905 N$$

5.  $P_{2z}$  ni quyidagicha aniqlaymiz.

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

6.  $P_2$  ni qiyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz.

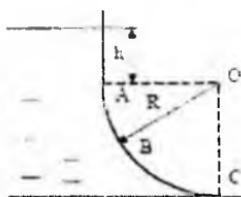
$$P_2 = \sqrt{P_{2x}^2 + P_{2z}^2} = \sqrt{4905^2 + 0.7^2} = 4905 N \approx 5 kN$$

7. Darvozaga ta'sir etayotgan GBKlarni qo'yilish nuqtasini aniqlaymiz.

$$\alpha_1 = \arctg \frac{P_{1z}}{P_{1x}} = \arctg \frac{2.1}{44145} \approx 1^\circ$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{P_{2z}}{P_{2x}} = \arctg \frac{0.7}{4905} \approx 1^\circ$$

**4 – Masala.** Silindr shaklidagi ABC egri sirtga ta'sir etayotgan GBK ning gorizontal va vertikal tashkil etuvchilarini epyuralarini quring hamda GBK ni aniqlang. Bosim markazini aniqlang. Silindr radiusi  $R = 1.2$  m, uzunligi  $L = 2.0$  m, A nuqta suv sathidan  $h = 0.7$  m, chuqurlikda.



### Berilgan

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

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

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

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

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

### Yechish:

- 1) GBK ning gorizontal tashkil etuvchisini aniqlash uchun egri sirtni vertikal proektsiyasida bosim epyurasini chizamiz.

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

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

- 2) Gorizontal tashkil etuvchi  $F_x$  bosim tanasi hajmiga teng

$$F_x = W_{ep} = \frac{P_A + P_C}{2} R \cdot L = \frac{7 + 1.9}{2} \cdot 1.2 \cdot 2 = 31.2 \text{ kN}$$

- 3) Vertikal tashkil etuvchi  $F_z$  ni aniqlaymiz.

$$P_z = \gamma \cdot W_{\text{BT}} = 10 \cdot 3.94 = 39.4 \text{ kN}$$

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

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

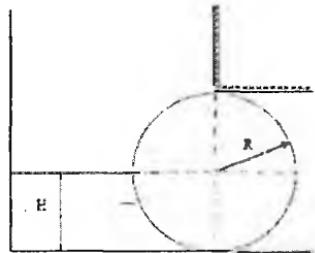
$$P = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} = \sqrt{31.2^2 + 39.4^2} 50,25 \text{ kN}$$

- 5) Gorizontal tekislik bilan tashkil etgan burchagini aniqlaymiz.

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

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

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



**Berilgan**

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

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

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

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

$$F = ?$$

**Yechish:**

- 1) Zatvorga ta'sir etayotgan GBK ning gorizontal tashkil etuvchisi  $F_x$  ni aniqlaymiz.

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

- 2) Vertikal tashkil etuvchi  $F_z$  kuchni aniqlaymiz.

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

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

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

- 3) Zatvorga ta'sir etayotgan umumiy GBK  $F$  ni abiqlaymiz.

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

- 4) Gorizontal tekislik bilan tashkil qiluvchi burchakni aniqlaymiz.

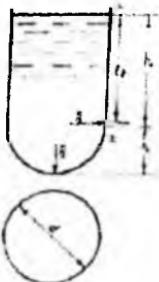
$$\alpha = \arctg \alpha = \frac{F_z}{F_x} = \frac{141.3}{90} = 1.57 = 57.5^\circ$$

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

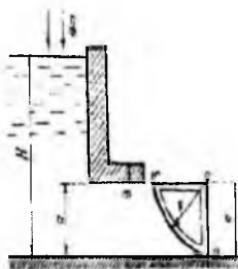
### Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Tubi yarim shar shaklidagi silindrik rezervuarga neft quyilgan. Agar  $d = 4,0 \text{ m}$ ;  $h_1 = 4,0 \text{ m}$ ;  $h_2 = 2 \text{ m}$  bo'lsa:

- a) Rezervuar tubiga ta'sir etayotgan manometrik bosim kuchini aniqlang;
  - b) ABC- devorga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini aniqlang (2.39-rasm).
2. Segmentli darvoza bilan oqim to'silgan. Darvoza oldidagi suv sathi  $H = 7 \text{ m}$ ,  $a = 3 \text{ m}$ , darvoza eni  $b = 4 \text{ m}$ , radiusi  $R = 4 \text{ m}$ . Darvozaga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini aniqlang (2.40-rasm).



2.39-rasm.



2.40-rasm.

3. Benzin rezervuarining yon tomoniga o'rnatilgan qopqog'i yarim sfera shaklida Rezervuar qopqog'iga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini hisoblash kerak, agar  $H = 2,0 \text{ m}$ ;  $d = 0,5 \text{ m}$ ;  $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$ ;  $P_s = 102 \text{ kPa}$  bo'lsa.

### 2.14. Arximed qonuni

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

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

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

1) jismga yuqoridan ta'sir etuvchi bosim kuchi

$$P_1 = \gamma H_1 \omega$$

2) jismga pastdan ta'sir etuvchi bosim kuchi

$$P_2 = \gamma H_2 \omega$$

3) pastga yo'nalgan og'irlilik kuchi

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

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

$$P = P_2 - P_1 = \gamma \omega (H_2 - H_1) = \gamma \omega \Delta H. \quad (2.43)$$

Bu yerda:  $\gamma$  va  $\gamma_1$  – suyuqlik va jismning solishtirma og'irliliklari;  $H_1$  – jismning yuqori qismining chuqurligi;  $H_2$  – jismning pastki qismining chuqurligi;  $\Delta H$  – jismning

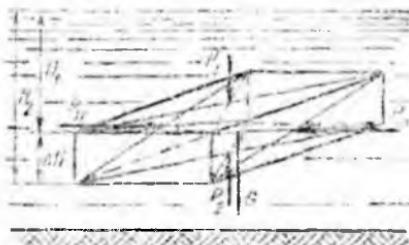
balandligi;  $\omega$  – jismning yuqori va pastki sirtlarining yuzasi.

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

$$P = \gamma V \quad (2.44)$$

Shunday qilib, jismni siqib chiqarishiga harakat qilayotgan kuch jism siqib chiqargan suyuqlikning og'irligiga teng ekanligi isbotlandi. Bu kuch botirilgan jismning qancha chuqurlikda bo'lishiga bog'liq emasligi (2.43) dan ko'rinish turibdi. Arximed qonuni yopiq va ochiq idishlarda suyuqlik sirtida suzib yuruvchi jismlar uchun ham,

uning ichidagi jismlar uchun ham to‘g‘ridir. Faqat suyuqlik sirtidagi jismlar uchun uning suvgaga botirilgan qismiga qo‘llaniladi.



2.41- rasm. Arximed qonuniga oid chizma

## 2.15. Jismlarning suyuqlikda suzishi. Suzuvchanlik

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

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

yoki

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

Bu kuchni ko‘taruvchi kuch deb ataladi.

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

$$R = (\gamma - \gamma_1)V. \quad (2.45)$$

Oxirgi munosabatdan quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1. Agar  $\gamma > \gamma_1$  bo‘lsa, ya’ni jismning solishtirma og‘irligi suyuqliknikidan kam bo‘lsa, ko‘taruvchi kuch R musbat bo‘ladi (yuqoriga yo‘nalgan). Bu holda jism suyuqlik sirtida qalqib yuradi.

2. Agar  $\gamma = \gamma_1$  bo‘lsa, ya’ni jism bilan suyuqlik solishtirma og‘irliliklari teng bo‘lsa, u holda  $R = 0$ , ya’ni jism suyuqlik ichida suzib yuradi.

3. Agar  $\gamma < \gamma_1$  bo‘lsa, u holda ko‘taruvchi kuch manfiy (pastga yo‘nalgan) bo‘ladi va jism suyuqlik tubigacha cho‘kadi.

(2.45) dan jismlarning suyuqlikda suzuvchanligi, ya’ni ma’lum yuk bilan suzib yurish qobiliyatini to‘g‘risida xulosa chiqarish mumkin. Har qanday qalqib yuruvchi jism

suzuvchanlik imkoniyatiga ega bo'lib, bu uning suzib yurichidagi xavfsizligini ta'minlaydi. Suzuvchanlik imkoniyati jismning suyuqlik sirtidan yuqori qismining hajmidagi suyuqlik og'irligiga teng.

Suzuvchanlik imkoniyati  $P_c$  bilan belgilanadi va quyidagicha topiladi:

$$P_c = \frac{R}{\gamma} = \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma} V \quad (2.46)$$

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

Suzib yuruvchi jism haqida yana quyidagi tushunchalarni keltiramiz.

1. *Suzish tekisligi* – jismni kesib o'tuvchi erkin sirt AB.

2. *Vater chiziq* – suzish tekisligi bilan jism sirtining kesishish chizig'i.

3. *Suzayotgan jismning og'irlilik markazi* (2.42-rasmda C nuqta).

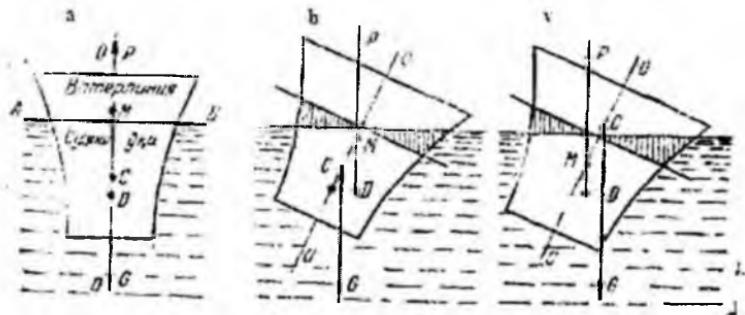
4. *Suv sig'imi markazi yoki bosim markazi* (2.42-rasmda D nuqta). Bu yerda suv sig'imi – jismning suvgaga botgan qismi. Suv sig'imi markazi jismning suyuqlikka botgan qismiga ta'sir etuvchi bosimning teng ta'sir etuvchisi qo'yilgan nuqta bo'lib, u suvgaga botgan qismning og'irlilik markaziga joylashgan.

5. *Suzish o'qi* – suzayotgan jism normal holatida uning o'rtaidan o'tgan O – O o'qi (2.41-rasm, a).

6. *Metamarkaz* – jismning qiya holatida teng ta'sir etuvchi bosim kuchi yo'nali shining suzish o'qi bilan kesishgan nuqtasi (2.42-rasm, b, v). Suzayotgan jismning og'irlilik markazi C u qiyalashganda ham o'zgarmaydi. Suv sig'imi markazi D esa jism qiyaligining har xil holatida har xil bo'ladi. Qiyalik burchagi  $15^\circ$  gacha bo'lganda D taxminan radiusi biror  $r$  ga teng bo'lган aylana yoyi bo'yicha siljib boradi va bu radius D va M orasidagi masofaga teng bo'lib, metamarkaziy radius deyiladi. M va C orasidagi masofa metamarkaziy balandlik deyiladi va h harfi bilan belgilanadi.

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

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



2.42- rasm.

### Suzib yuruvchi jismlarning turli holatlari.

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

1) agar metamarkaz og'irlik markazidan yuqorida bo'lsa (2.42-rasm, b),  $G$  va  $P$  kuchlarning momenti jismni normal holatga qaytaradi, ya'ni jism *turg'un* holatda bo'ladi;

2) agar metamarkaz og'irlik markazidan pastda bo'lsa (2.42-rasm, b),  $G$  va  $P$  kuchlarning momenti jismni ag'darishga harakat qiladi, ya'ni jism noturg'un holatda bo'ladi;

3) agar metamarkaz og'irlik markazi ustiga tushsa, u holda suyuqlikda suzayotgan jism holati *turg'un*likka bog'liq bo'lmaydi (masalan, shar uchun). Turg'unlikka bog'liq boshqa masalalar ustida to'xtalib o'tirmaymiz.

### 2.16. Nisbiy tinchlik

Biz yuqorida ko'rganimizdek, suyuqlik og'irlik kuchi ta'sirida muvozanatda turishi mumkin. Bu hol yerga nisbatan tinch turgan yoki to'g'ri chiziqli tekis harakat

qilayotganda idishda muvozanatda bo'lgan suyuqlikka tegishlidir. Gidrostatikadagi barcha masalalar shu hollar uchun ko'rilgan.

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

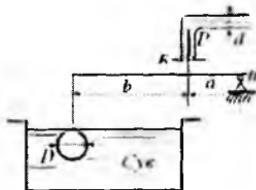
Nisbiy tinchlikda bosimi teng sirtlar va erkin sirt tinch turgan idishdagi gorizontal tekisliklar oilasidan iborat bo'lgan bunday sirtlardan butunlay farq qiladi. Bu hollarda ta'sir etuvchi massa kuchlar bosimi teng sirtlarga tik yo'nalgan bo'ladi.

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

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

### **Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:**

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



**2.43-rasm**

#### ***Yeshimi:***

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

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

Bu yerda  $F$  — Arximed kuchi:

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

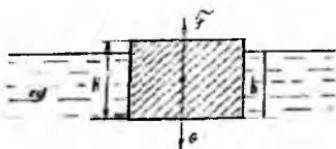
Aniqlangan hadlarni tenglamaga qo'yib, bosim miqdorini aniqlaymiz:

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

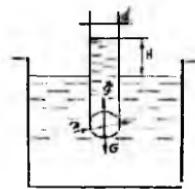
### Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Suvdag'i prizmasimon jismning hajmiy og'irligini aniqlang. Uning balandligi  $H = 20 \text{ sm}$  va suyuqlikka cho'kkani qismi  $h = 16 \text{ sm}$  (2.44- rasm).

2. Suvga to'la cho'kkani sharsimon klapan diametri  $d = 100 \text{ mm}$  bo'lgan qurvur teshigini berkitadi. Sharning diametri  $D = 150 \text{ mm}$  va massasi  $m = 0,5 \text{ kg}$  bo'lsa, qurvurdagi suyuqlik sathining qaysi balandligida ( $H$ ) klapan ochila boshlaydi (2.45 rasm).



2.44- rasm



2.45- rasm.

3. Quyida o'chami ko'rsatilgan brusning hajmiy og'irligini toping:

$b = 30 \text{ sm}$ ,  $h = 20 \text{ sm}$ ,  $l = 100 \text{ sm}$ , suyuqlikka cho'kkani qismi  $y = 16 \text{ sm}$ .

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

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

6. O'chamlari  $60 \times 60 \times 20 \text{ sm}$  bo'lgan muz suvda suzmoqda. Muzning zichligi  $\rho_T = 900 \text{ kg/m}^3$ . Agar muz erisa, idishdag'i suv sathi qanchaga o'zgaradi?

### II bob bo'yicha nazorat savollari

1. Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalalarini tushuntiring.
2. Bosimi teng sirtlar. Erkin sirt.

3. Qanday kuchga gidrostatik bosim kuchi deyiladi?
4. Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim
5. Arximed qonuniga oid chizma
6. Jismlarning suyuqlikda suzishi. Suzuvchanlik
7. Gidrostatik mashinalarning qanday turlari mavjud?
8. Metamarkaz nuqta haqida tushuncha bering.

### III BOB. SUYUQLIKLAR KINEMATIKASI VA DINAMIKASI ASOSLARI. SUYUQLIKLARDA HARAKAT TURLARI

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

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

#### 3.1. Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari

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

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

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

$$\begin{aligned} p &= f_1(x, y, z, t) \\ u &= f_2(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

tezlik proyektsiyalari ham funktsiyalardir;

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

$$u_y = f_4(x, y, z, t)$$

$$u_z = f_5(x, y, z, t)$$

Bu keltirilgan funktsiyalarni aniqlash va ular o'rtaqidagi o'zaro bog'lanishni topish gidrodinamikaning asosiy masalasi hisoblanadi.

**Harakat turlari.** Harakat vaqtida suyuqlik oqayotgan fazoning hap 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

$$\begin{aligned} p &= f_{11}(x, y, z) \\ u &= f_{21}(x, y, z) \end{aligned} \tag{3.2}$$

bo'lsa, u holda harakat *barqaror* deyiladi. Bu hol quvurlarda va kanallarda suyuqlik ma'lum vaqt oqib turganidan keyin yuzaga kelishi mumkin. Barqaror harakat ikki tur bo'lishi mumkin: *tekis va notekis 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.

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

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

### 3.2. Oqimchali harakat haqida asosiy tushunchalar.

#### Oqim chizig'i, oqim naychasi va oqimcha. Suyuqlik oqimlari

Odatda, biror voqeа 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... (3.1-rasm, a) nuqtalar bilan ifodalash mumkin va bu nuqtalarda harakatdagi zarracha (3.1) va (3.2) ga asosan har xil tezlik va bosimlarga ega bo'ladi. Shu nuqtalarni o'zaro tutashirsak, suyuqlik zarrachasiniig trayektoriyasi hosil bo'ladi.

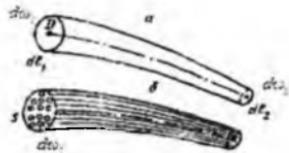
Endi, suyuqlik zarrachasining tezligini kuzatamiz. Zarrachaning  $A$  nuqtadagi tezlik vektori  $u_A$  ni ko'rileyotgan vaqt uchun quramiz, shu vektorning davomida kichik  $dl_1$  masofadagi  $B$  nuqtada harakatdagi suyuqlik zarrachasining  $B$  nuqtaga tegishli tezlik vektori  $u_B$  ni quramiz. Hosil 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  $ABCDE$  (3.2-rasm, b) siniq chiziqni hosil qilamiz. Agar  $dl_1, dl_2, dl_3$  larni cheksiz kichraytirib borib, nolga intiltirsak,  $ABCDE$  o'mida biror egri chiziqni olamiz. Bu egri chiziq oqim chizig'i deb ataladi.

Demak, suyuqlik harakatlanayotgan fazoda olingan va berilgan vaqtida har bir nuqtasida unga o'tkazilgan urinma shu nuqtaga tegishli tezlik vektori yo'nalishiga mos keluvchi egri chiziq oqim chizig'i deb ataladi. Beqaror harakat vaqtida tezlik va uning yo'nalishi vaqt davomida o'zgarib turgani uchun trayektoriya bilan oqim chizig'i bir xil

bo'lmaydi. Barqaror harakat vaqtida esa tezlik vektorining nuqtalardagi holati vaqt o'tishi bilan o'zgarmagani uchun trayektoriya bilan oqim chizig'i ustma-ust tushadi.



**3.1-rasm. Oqim chizig'ini tushuntirishga oid chizma.**



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

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

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

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

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

Endi biror  $\omega$  yuza olib, uni cheksiz ko'p  $d\omega_1, d\omega_2, d\omega_3$  elementar yuzalarga ajratish mumkin (3.2-rasm, b). Shuning uchun yuzadan oqib o'tayotgan suyuqlik oqmasi cheksiz ko'p elementar oqimchalardan tashkil topgan bo'ladi va har bir elementar oqimchada suyuqlik tezligi boshqa elementar oqimchalardagidan farq qiladi.

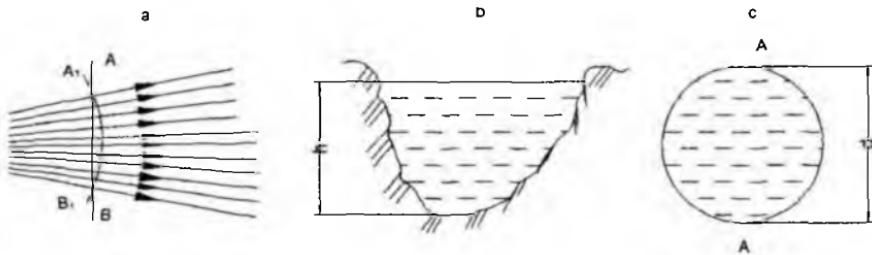
### **3.3. Oqimning asosiy gidravlik elementlari**

Suyuqlik oqimini tekshirishda oqish qonunlarini matematik ifodalash uchun uni gidravlik va geometrik nuqtai nazardan xarakterlovchi; 1) harakat kesimi; 2) suyuqlik

sarfi; 3) o'rtacha tezlik; 4) ho'llangan perimet; 5) gidravlik radius kabi tushunchalar kiritiladi.

*Harakat kesimi* deb shunday sirtga aytiladiki, uning har bir nuqtasida oqim chizig'i normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. Umumiy holda harakat kesimi egri sirt bo'lib (3.3- rasm a), parallel oqimchali harakatlar uchun tekislikning bo'lagidan iborat (ya'ni tekis sirtdir) (3.3-rasm, b, c).

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



### 3.3- rasm. Harakat kesimiga oid chizma.

Vaqt birligida oqimning berilgan harakat kesimi orqali oqib o'tayotgan suyuqlik miqdori **suyuqlik sarfi** deb ataladi. Sarf  $Q$  harfi bilan belgilanadi va  $l/s$ ,  $m^3/s$ ,  $sm^3/s$  larda o'lchanadi. Elementar yuza bo'yicha sarfni  $dQ$  bilan, birlik yuza bo'yicha sarfni  $q$  bilan belgilanadi. 3.4-rasmda 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'rinish 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:

$$Q = \int u d\omega, \quad (3.3)$$

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

Suyuqlik zarrachalarining hammasi bir xil tezlik bilan harakatlanganda bo‘ladigan sarf, haqiqiy harakat vaqtidagi sarfga teng bo‘ladigan tezlik o‘rtacha tezlik deb ataladi. 3.4-rasm,  $a$ ,  $b$  larda haqiqiy tezlik epyurasi punktir chiziq bilan chizilib, punktirli strelkalarning uchini birlashtiradi. O‘rtacha tezlik epyurasi tutash chiziqlar

bilan chizilgan bo‘lib, tutash strelkalar uchini birlashtiradi. O‘rtacha tezlik  $\vartheta$  harfi bilan

belgilanadi va sarfni harakat kesimiga bo‘lish yo‘li bilan topiladi:

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

Bunda suyuqlik sarfi o‘rtacha tezlik orqali quyidagicha ifodalaniladi:

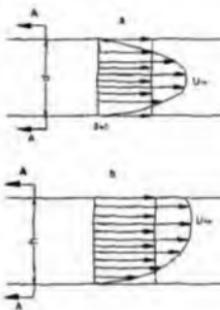
$$Q = \vartheta \omega. \quad (3.5)$$

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

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

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

$$\chi = 2h + b,$$



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

bu yerda  $h$  – suyuqlik chiqurligi;  $b$  - nov (kanal)ning kengligi: trapetsiadal nov uchun (3.4-rasm, b).

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

bu yerda  $m = \operatorname{ctg}\alpha$  – qiyalik koefitsiyenti;

uchburchak novlar uchun (1.32-rasm, v):

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

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

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

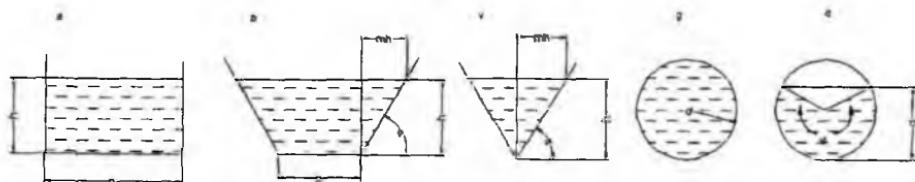
suyuqlik to'lmay oqqanda (1.32-rasm, d)

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

bu yerda  $\varphi$  – markaziy burchak;  $d$  - quvurning ichki diametri;  $r$  - quvurning ichki radiusi.

Oqim harakat kesimi  $\omega$  ning ho'llangan perimetri  $\chi$  ga nisbatli gidravlik radiusi deb ataladi va  $R$  bilan belgilanadi, ya'ni:

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



### 3.5- rasm. Ho'llangan perimetrga doir chizma.

To'g'ri to'rtburchak novlar uchun:

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

Trapetsiadal novlar uchun

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h(mh+b)}{b+2h\sqrt{1+m^2}}. \quad (3.8)$$

Uchburchak novlar uchun

$$\bar{R} = \frac{\omega}{\chi} = \frac{mh^2}{2h\sqrt{1+m^2}} = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}. \quad (3.9)$$

Silindrik quvurlar uchun:

$$\text{suyuqlik to'lib oqqanda} \quad R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4}; \pi d = \frac{r}{2}, \quad (3.10)$$

$$\text{suyuqlik to'lmay oqqanda} \quad R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\frac{d^2}{8} \left( \frac{\varphi\pi}{180} - \sin \varphi \right)}{\frac{\varphi\pi d}{360}} = \frac{d}{4} \left( 1 - \frac{180 \sin \varphi}{\varphi\pi} \right). \quad (3.11)$$

### 3.4. Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi

Yuqorida aytib o'tilganidek, gidravlikada suyuqliklar tutash 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 *I*-*I* bo'lgan elementar oqimcha olamiz va uning 1 - 1 va 2 - 2 kesimlari orasidagi bo'lagini tekshiramiz (3.6-rasm). 1-1 kesimdagи yuza  $d\omega_1$ , tezlik  $u_1$ , 2-2 kesimdagи 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.

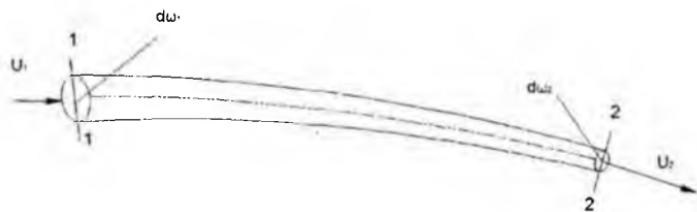
Bu holda 1-1 va 2 - 2 kesimlar orqali o'tuvchi elementar sarflar teng bo'ladi:

$$q_1 = q_2 \quad (3.12)$$

Buni isbotlash uchun quyidagi ikki holni ko'ramiz:

1).  $q_1 > q_2$  bo'lsin. Bu holda 1-1 va 2-2 kesimlar o'rtaida suyuqlik to'planishi yoki elementar oqimcha devorlari orqali tashqariga chiqishi mumkin degan xulosa

chiqadi. Biroq yuqorida aytiganidek, elementar oqimcha devorlaridan suyuqlik o'tmaydi va uning ko'ndalang kesimlari o'tkazmasidir.



### **3.6. rasm. Elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasini chiqarishga oid chizma.**

Demak, bunday taxmin noto'g'ri ekanligi ko'rinish turibdi.

2)  $q_1 < q_2$  bo'lsin. Bu holda 1-1 va 2-2 kesimlari orasida qayerdandir suyuqlik qo'shilish yoki elementar oqimcha devorlari orqali ichkariga o'tib turishi kerak. Yuqoridagiga asosan bunday taxmin ham noto'g'ri ekanligi ko'rinaldi. Shunday qilib, (3.12) tenglik to'g'ri ekanligi isbotlandi.

Elementar sarflar tengligidan quyidagi kelib chiqadi:

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 \quad (3.13)$$

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

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

(3.13) tenglama elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasi deb ataladi. Bu tenglamadan ko'rinish turibdiki, elementar oqimchaning barcha kesimlarida elementar sarf xildir. (3.13) tenglamani quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{d\omega_2}{d\omega_1}$$

Bundan elementar oqimchaning 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 (3.6-rasm) nazarga olib, (3.13)

tenglamaning chap va ung qismini  $\omega_1$  va  $\omega_2$  yuzalar bo'yicha olingan integrallar bilan

almashtiramiz

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

(3.3) tenglamaga asosan

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = g_1 \omega_1; \quad \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2 = g_2 \omega_2$$

bo'ladi. Shuning uchun

$$g_1 \omega_1 = g_2 \omega_2 \quad (3.14)$$

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

$$g_1 \omega_1 = g_2 \omega_2 = g_3 \omega_3 = \dots = g_n \omega_n = \text{const}$$

Bu oqim uchun uzilmaslik tenglamasidir. Undan ko'rindaniki, oqimning yo'nalishi bo'yicha ko'ndalang kesimlarning yuzasi va tezligi o'zgarib borishi mumkin. Lekin sarf o'zgarmaydi. (3.14) tenglamani quyidagicha ta'riflash va yozish mumkin, ya'ni *oqimning kesimlaridagi o'rtacha tezliklar tegishli kesimlarning yuzalariga teskari proportionaldir*:

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

### 3.5. Ideal suyuqliklar uchun harakat tenglamasi. Suyuqlik harakati uchun Eyler tenglamasi

Yuqorida biz ideal va real suyuqliklar tushunchasi haqida to'xtalib, ularning bir-biridan farqini ko'rsatuvchi asosiy kattalik ichki ishqalanish kuchi ekanligini aytib o'tdik. Keyinchalik ichki ishqalanish kuchi tezlik gradienteiga bog'liq bo'lishini ta'kidladik.

Gidrostatika bo'limida suyuqliklar muvozanat holatining tenglamasini chiqqarganimizdek, ularning harakati uchun ham umumiylashgan 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 (3.6-rasmga qarang). U holda hajmga  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  o'qlari yo'nalishida ta'sir etuvchi kuchlar gidrostatikada suyuqliklar asosiy tenglamasini chiqqarganimizdagidek ifodalanadi. Bu yerda farq suyuqlik harakatda bo'lganligi uchun bosim kuchlaridan tashqari inertsiya kuchlari ham mavjudligidir. Shuning uchun gidrostatikada suyuqlikning muvozanat shartlaridan foydalangan bo'lsak, bu yerda Dalamber printsipidan foydalananamiz. U holda birlik massaga ta'sir etuvchi inertsiya kuchlarining teng ta'sir etuvchisi  $x$ ,  $y$  va  $z$  o'qlariga quyidagi proektsiyalarga ega bo'ladi:

$$\alpha_x = \frac{du_x}{dt}; \quad \alpha_y = \frac{du_y}{dt}; \quad \alpha_z = \frac{du_z}{dt} \quad (3.15)$$

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

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.16)$$

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

$$X, \quad Y, \quad Z. \quad (3.17)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{du_y}{dt} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{du_z}{dt} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right| \quad (3.18)$$

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.

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'rtinchchi tenglama sifatida suyuqliklar harakatining uzilmaslik tenglamasini differentsial shaklda yoziladi va u siqilmaydigan suyuqliklar uchun quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (3.19)$$

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

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

Buni nazarga olsak, (3.19) qisqacha quyidagicha yoziladi:

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

Murakkab funktsiyaning to'liq differentsiyali haqidagi qoidaga asosan

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t}, \quad (3.20)$$

Iekin koordinatalardan vaqt bo'yicha hosilalar tezlik proyektsiyalarini beradi, ya'ni

$$\frac{\partial x}{\partial t} = u_r, \quad \frac{\partial y}{\partial t} = u_s, \quad \frac{\partial z}{\partial t} = u_t. \quad (3.21)$$

Buni nazarda tutgan holda (3.20) ni quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{du_r}{dt} = \frac{\partial u_r}{\partial x} + u_x \frac{\partial u_r}{\partial x} + U_v \frac{\partial u_r}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z}. \quad (3.22)$$

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

$$\frac{du_v}{dt} = \frac{\partial u_v}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_v}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_v}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_v}{\partial z}, \quad (3.23)$$

$$\frac{du_z}{dt} = \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z}. \quad (3.24)$$

(3.22), (3.23), (3.24) larni (3.18) tenglamaga qo'yib, ideal suyuqliklar differentsiyal tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_r}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_r}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial u_v}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_v}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_v}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_v}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \quad (3.25)$$

### 3.6. Real suyuqliklarda ichki kuchlar. Nave-Stoks tenglamasi

Real suyuqliklarda gidrodinamik bosim mavjud bo'lib, harakat yo'q bo'lgan holda u gidrostatik bosimga aylanadi. Gidrodinamik bosimning xossalari gidrostatik bosim xossalariiga qaraganda umumiyoqdir. Gidrodinamik bosim suyuqlikdagi ichki kuchlarni ifodalovchi va zo'riqish kuchlari deb ataluvchi kuchlar tarkibiga kiradi.



**3.7- rasm. Real suyuqliklarda zo'riqish tensorini tushuntirishga doir chizma**

Suyuqlik ichida joylashgan biror elementar hajmnı 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 (3.7-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.

Bu kuchlarning har biri  $x$ ,  $y$  va  $z$  o'qlari bo'yicha proyektsiyaga ega:

$$\begin{aligned}\bar{p}_x &\left\{ p_{xx}, p_{xy}, p_{xz} \right\} \\ \bar{p}_y &\left\{ p_{yx}, p_{yy}, p_{yz} \right\} \\ \bar{p}_z &\left\{ p_{zx}, p_{zy}, p_{zz} \right\}\end{aligned}$$

Shunday qilib,  $P$  kuchni to'qqizta kuch bilan almashtirish mumkin bo'ladi. Bunday xususiyatga ega bo'lgan kattaliklar tensor deb ataladi va quyidagicha yoziladi:

$$\bar{p}_n \begin{cases} p_{xx}, p_{xy}, p_{xz} \\ p_{yx}, p_{yy}, p_{yz} \\ p_{zx}, p_{zy}, p_z \end{cases} \quad (3.26)$$

Bu kuchlardan uchtasi  $p_{xx}$ ,  $p_{yy}$ ,  $p_{zz}$  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 qovushoqlik koefitsiyenti orqali ifodasini keltiramiz:

$$\begin{aligned} p_{xx} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x}, \\ p_{yy} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y}, \\ p_{zz} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z}, \\ p_{xy} = p_{yx} &= \mu \left( \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right), \\ p_{xz} = p_{zx} &= \mu \left( \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right), \\ p_{yz} = p_{zy} &= \mu \left( \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad , \quad (3.27)$$

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 (3.7-rasmga q.) U holda  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  yo'nalishida og'irlik va inertsiya kuchlarini hisobga olmaganimizda, uchta kuch ta'sir qiladi:

$Ox$  bo'yicha  $p_{xx}$ ,  $p_{xy}$ ,  $p_{xz}$

$Oy$  bo'yicha  $p_{xy}$ ,  $p_{yy}$ ,  $p_{zy}$

$Oz$  bo'yicha  $p_{xz}$ ,  $p_{yz}$ ,  $p_{zz}$

Demak, parallelepipedning (3.7-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 Dalamber printsipidan foydalanib harakat tenglamasini tuzamiz. U quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned}\frac{du_x}{dt} &= X + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} \right) \\ \frac{du_y}{dt} &= Y + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z} \right) \\ \frac{du_z}{dt} &= Z + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} \right)\end{aligned}\quad (3.28)$$

Olingen tenglamaga (3.22), (3.23), (3.24) va (3.25) munosabatlarni kiritsak, real suyuqliklarning harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right)\end{aligned}\quad (3.29)$$

Bu hosil bo'lgan tenglamalar sistemasi siqilmaydigan suyuqliklar uchun Nave-Stoks tenglamasi deyiladi. (3.29) sistema uchta tenglamadan iborat bo'lib noma'lumlar soni to'rtta;  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$ ,  $p$ . Shuning uchun real suyuqliklar harakatini tekshirishda bu sistemaga (3.19) tenglamani qo'shib yechiladi.

### Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

**Masala.** Siqilmaydigan suyuqlikning tezlik maydoni quyidagi potentsialga:  $\varphi = 4(x^2 - u^2)$  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:**

- 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.
- To‘g‘ri burchakli to‘rburchak shaklidagi ketma-ket ulangan quvurlarning gidravlik elementlarini (sarfl, o‘rtacha tezlik, gidravlik radius, ho‘llangan perimetр) 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.
- Oqim harakat tezligining proyektsiyasi berilgan:  $u_x = 8x$ ;  $u_y = -8u$ . Oqim chizig‘ining trayektoriyasini toping.
- Oqim trayektoriyasi tenglama orqali berilgan bo‘lsa, uning 10 sekunddan keyingi tezligini aniqlang.
- Tajribalar asosida olingan tezlik proyektsiyasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ldi:  $u_x = 5xy + 2$ ;  $u_y = 2x - 5xy$ . Tajriba to‘g‘ri o‘tkazilganmi?

#### **3.7. Elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi**

Yuqorida keltirilgan Eyler va Nave-Stoks tenglamalar sistemalarini yechish yo‘li bilan suyuqlik 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 (3.18) 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:

$$\frac{du_x}{dt} dx + \frac{du_y}{dt} dy + \frac{du_z}{dt} dz = Xdx + Ydy + Zdz - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) \quad (3.30)$$

(3.21) munosabatdan ko'rinish turibdiki,

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

Shu munosabatdan foydalanim. (3.30) tenglamaning chap tomonini quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} u_x dt + \frac{\partial u_y}{\partial t} u_y dt + \frac{\partial u_z}{\partial t} u_z dt = u_x du_x + u_y du_y + u_z du_z = \frac{1}{2} d(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2) \quad (3.31)$$

lekin

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

bo'lgani uchun (3.30) tenglama chap tomonining ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{1}{2} d(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2) = \frac{1}{2} d(u^2) \quad (3.32)$$

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

$$Xdx + Ydy + Zdz = dF \quad (3.33)$$

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

$$F = -gz \quad (3.34)$$

(3.30) tenglamaning o'ng tomonida yana bosim bilan ifodalangan munosabat bo'lib, u bosimning to'liq differentialsini ifodalarydi, ya'ni

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

(3.32), (3.33), (3.34) va (3.35) larni (3.30) tenglamaga qo'ysak, u quyidagi ko'rinishga keladi

$$\frac{1}{2}d(u^2) + \frac{1}{\rho}dp + d(gz) = 0$$

Hosil bo‘lgan tenglamani elementar oqimchaning 1-1 kesimidan (3.8-rasmga q.) 2-2 kesimigacha integrallasak, quyidagi tenglamaga ega bo‘lamiz:

$$\frac{u_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gz_1 = \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gz_2 \quad (3.36)$$

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

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (3.37)$$

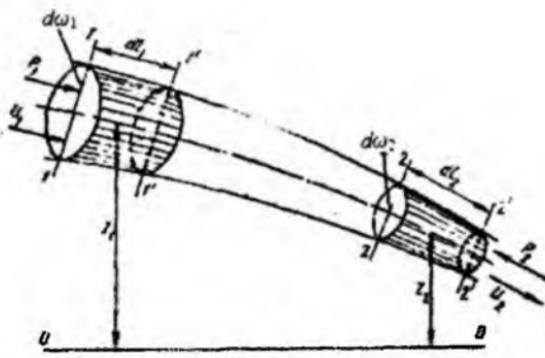
Oxirgi tenglama 1738 y. Bernulli tomonidan olingan bo‘lib, uning nomi bilan ataladi va gidravlikada harakatning asosiy tenglamasi bo‘lib xizmat qiladi. Bu tenglama ixtiyoriy ikkita kesim uchun olingan bo‘lib, bu kesimlarning elementar oqimcha yo‘nalishi bo‘yicha qayerda olinishining ahamiyati yo‘q. Shuning uchun Bernulli tenglamasini quyidagi ko‘rinishda ham yozish mumkin:

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = const \quad (3.38)$$

Ko‘rinib turibdiki, Bernulli tenglamasida asosan  $z, \frac{p}{\gamma}, \frac{u^2}{2g}$  kattaliklarning yig‘indisi o‘z-garmas ekan. Shunday qilib, bu tenglama tezlik  $u$ , bosim  $p$ , zinchlik  $\rho$  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.

Ikkinci 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  $dt$  vaqtida harakat qilib,  $1' - 1$  va  $2' - 2$  kesmalari orasidagi holatga keladi (3.8-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.



3.8- rasm. Bernulli tenglamasini keltirib chiqarishga doir chizma.

Bu qonun bo'yicha biror jism harakati vaqtida uning kinetik energiyasining o'zgarishi, shu jismga ta'sir qilayotgan kuchlarning bajargan ishlaringning yig'indisiga tengdir. Bu gapning matematik ifodasi quyidagicha bo'ladi:

$$d\left(\frac{m_1 u_1^2}{2}\right) = \sum P I \quad (3.39)$$

bu yerda  $d\left(\frac{m u^2}{2}\right)$  – kinetik energiyaning  $dt$  vaqtda o'zgarishi;  $\sum P I$  – barcha kuchlar bajargan ishlarning yig'indisi. Endi elementar oqimcha bo'lagining  $dt$  vaqt ichida 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi holatdan 1'-1' va 2'-2' kesimlar orasidagi holatga kelgandagi kinetik energiyasining o'zgarishini ko'ramiz. Harakat barqaror bo'lgani uchun bu o'zgarish 1 - 1 va 1' - 1' orasidagi bo'lak bilan 2 - 2 va 2' - 2' orasidagi bo'lak kinetik energiyalari ayirmasiga teng.

1 - 1 va 1' - 1' orasidagi bo'lakning kinetik energiyasi (uning massasi  $m_1$  bo'lsa)  $\frac{m_1 u_1^2}{2}$  ga teng bo'ladi. 2-2 va 2'-2' orasidagi bo'lakning kinetik energiyasi esa  $\frac{m_2 u_2^2}{2}$  ga teng. Demak ko'rilib qolayotgan 1 - 1 va 2 - 2 orasidagi bo'lakning kinetik energiyasi  $dt$  vaqtda quyidagi miqdorga o'zgarar ekan:

$$\frac{m_2 u_2^2}{2} - \frac{m_1 u_1^2}{2} \quad (3.40)$$

Ikkinci tomondan, 1 - 1 va 1' - 1' orasidagi bo'lakning massasi uning hajmi  $dS_1 dl_1$ , ning zinchlikka ko'paytmasiga teng, ya'ni

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

Shuningdek, 2-2 va 2' - 2' orasidagi bo'lakning massasi

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

$dl_1$  va  $dl_2$  – dt vaqt ichida 1 -1 va 2 - 2 kesimlarining yurgan yo'lini ko'rsatadi, shuning uchun

$$dl_1 = u_1 dt, \quad dl_2 = u_2 dt \quad (3.41)$$

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 (3.40) 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:

$$\frac{m_2 u_2}{2} - \frac{m_1 u_1}{2} = \rho \frac{q dt u_2^2}{2} - \rho \frac{q dt u_1^2}{2} = \rho q dt \left( \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} \right). \quad (3.42)$$

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

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'riniib turibdiki,

$$A_1 = p_1 d\omega_1 dl_1$$

$$A_2 = p_2 d\omega_2 dl_2$$

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

$$A_1 = p_1 q dt; \quad A_2 = p_2 q dt \quad (3.43)$$

Og'irlilik kuchi bajargan ishni  $A_3$  deb belgilaymiz. Bu ish (1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi bo'lak o'z holatini saqlaganiga uchun) 1-1 va 1'-1' orasidagi bo'lak bilan 2-2 va 2'-2' orasidagi bo'laklar og'irliliklarini 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

$$A_3 = \gamma q dt (z_1 - z_2). \quad (3.44)$$

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

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

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 gruppab joylashtirsak, Bernulli tenglamasi hosil bo'ladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2. \quad (3.45)$$

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

### 3.8. Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari

Bernulli tenglamasining har bir hadi o'zinning geometrik va energetik mazmunlariga ega. Buni aniqlash uchun biror elementar oqimcha olib, uning 1-1, 2-2 va 3-3 kesimlarini ko'ramiz (3.9-rasm). Bu kesimlarning og'irlilik 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'irlilik 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'lган, bosim paydo bo'ladi. Bunda suyuqlik zarrachalarining inertsiya kuchi qo'shimcha bosimga sabab bo'ladi. Uchi, egilgan shisha naychalardagi balandlik quyidagilarga teng:

$$h_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}; \quad h_2 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}; \quad h_3 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{u_3^2}{2g}$$

Pezometrdagi suyuqlik balandligi bilan uchi egilgan shishalardagi balandlik farqi

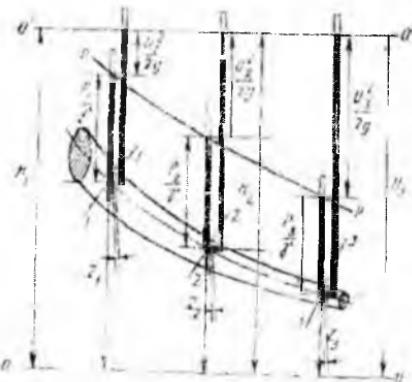
$$h_1 - h_2 = \frac{u_1^2}{2g}; \quad h_2 - h_3 = \frac{u_2^2}{2g}; \quad h_1 - h_3 = \frac{u_1^2}{2g}$$

larga teng bo'ladi va tezlik napori (balandligi) deyiladi.

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

$\frac{u_1^2}{2g}, \frac{u_2^2}{2g}, \frac{u_3^2}{2g}$  – suyuqlikning tegishli kesimlaridagi tezlik napori (balandligi);

$\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}, \frac{P_3}{\gamma}$  – pezometrik balandliklar;



**3.9-rasm. Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlariga doir chizma.**

$z_1, z_2, z_3$  – 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 tenglamaridan tezlik (napori) balandligi, pezometrik va geometrik balandliklarining umumiy yig‘indisi o‘zgarmas miqdor bollib, u 1.36-rasmida 0'-0' shizig‘i bilan belgilanadi va suyuqliknинг napor (dam) tekisligi deb ataladi.

Gidrodinamikada bu uchta balandliklar  $\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z$  ning yig‘indisi suyuqliknинг to‘liq napori (dami) deb ataladi va H bilan belgilanadi:

$$H = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = const.$$

Bular ideal elementar oqimchalar uchun Bernulli tenglamasining geometrik ma’nosini bildiradi. Uning energetik ma’nosи kinetik energiyaning o‘zgarish qonuni bo‘yicha chiqarilishiga asoslangan. Boshqacha aytganda, Bernulli tenglamasi suyuqliklar uchun energiyaning saqlanish qonunidir. Bernulli tenglamasi (3.45) ning chap tomoni elementar oqimchaning 1-1 kesimidagi to‘liq solishtirma energiya bo‘lib, u 2-2 kesimdagi to‘liq solishtirma energiyaga teng yoki umuman o‘zgarmas miqdordir.

Bu yerda *solishtirma energiya* deb og‘irlik birligiga to‘g‘ri kelgan energiya miqdoriga aytamiz. Bu aytilganlarga asosan Bernulli tenglamasi hadlarining energetik yoki fizik ma’nosи 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 ishlар bo‘yicha Bernulli tenglamasini quyidagicha sharhlash mumkin: ikkita

kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi (3.45) shu ikki kesimda tegishli hadlarining ayirmalaridan tashkil topadi:

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

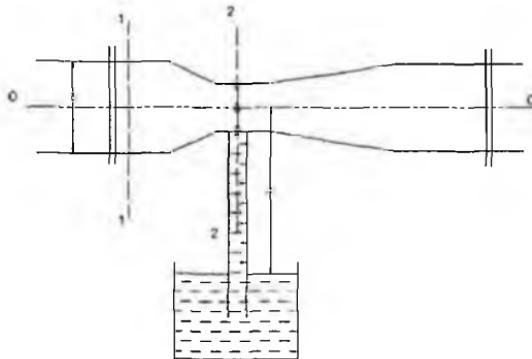
$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} \text{ — bosim kuchi bajargan ishning birlik og'irlilikka tegishli qismi.}$$

$$z_1 - z_2 \text{ — og'irlilik kuchi bajargan ishning birlik og'irlilikka tegishli qismi.}$$

Demak, suyuqlik harakat qilayotganda solishtirma kinetik va solishtirma potentsial energiyalar harakat davomida o'zgarib boradi, lekin to'liq solishtirma energiya o'zgarmas bo'ladi.

### **Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma**

**Masala.** Struyali nasos yordamida suv  $h = 0,5$  m chuqurlikdan ko'tarilmoqda. Agar quvur diametri  $d = 100$  mm, 1-1 kesimdagи bosim  $P_{Mf} = 40$  kPa, suv tezligi  $\varrho_t = 1,12$  m/s bo'lsa, kameradagi quvur diametrini  $d_2$  aniqlang. Suv ideal deb qaralsin.(3.10-rasm).



**3.10-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  $d = 30$  mm bo'lgan quvur orqali atmosferaga oqib chiqmoqda, agar rezervuardagi manometrik bosim  $P_M = 0,2$  atmosfera bo'lib, dam (napor)  $H = 1,5$  bo'lsa, quvurdagi suv sarfini aniqlang (3.11-rasm).

2. Suyuqlik ketma-ket ulangan har xil diametrli quvurlar orqali atmosferaga chiqmoqda. Agar ikkinchi quvurdagi tezlik  $\vartheta_2 = 0,8$  m/s bo'lsa, birinchi quvurdagi tezlik  $\vartheta_1 = 2$  m/s bo'lishi uchun, birinchi quvurdagi bosim qanday bo'lishi kerak (3.12-rasm).

3. Quvurdagi suv sarfini aniqlash uchun Venturi naychasidan foydalilanadi.

Agar quvurga o'rnatilgan pezometrlar farqi  $h = 16$  sm bo'lib, quvur diametri  $D = 20$  sm, naychaning diametri  $d = 14$  sm bo'lganda quvurdan o'tayotgan sarfni aniqlang (3.13-rasm).

4. Agar naychaning diametri  $d = 5$  sm, quvurning diametri  $D = 100$  mm va quvurdagi bosim  $P = 0,4$  at bo'lsa, naychaga ulangan quvurda suv qaysi balandlikka ko'tariladi? (3.14-rasm)



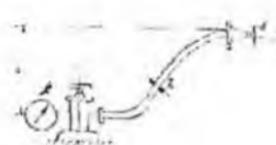
3.11-rasm.



3.12-rasm.



3.13-rasm.



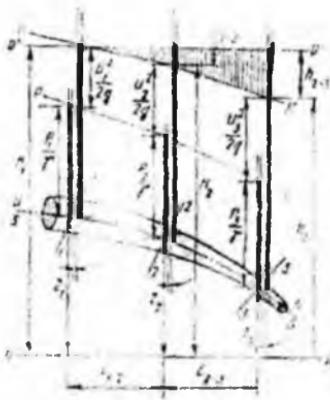
3.14-rasm

### 3.9. Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi

Endi real suyuqlik elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasining grafigini chizamiz Buning uchun harakat o‘qi S - S, I - I, 2 - 2 va 3 - 3 kesimlardi 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 (3.15-rasm) bilan solishtiramiz. Natijada ideal suyuqliklar uchun oqimchaning birinchi kesimidagi gidrodinamik bosimi  $H_1$  ikkinchi va uchinchi kesimlarda gi gidrodinamik bosimlarga tengligini, ya’ni  $H_1 = H_2 = H_3 = \text{const}$  ekanligini real suyuqlik uchun birinchi kesimidagi gidrodinamik bosim  $H_1$  ikkinchi va uchinchi kesimlarda gi bosimlarga tengmasligini, ya’ni  $H_1 \neq H_2 \neq H_3$  ekanligini ko‘ramiz. 3.15-rasmga muvofiq bu tengsizlik quyidagicha ifodalanadi:

$$H_1 > H_2 > H_3$$

Demak, real suyuqliknинг 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.



**3.15-rasm. Real suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasining geometrik manosi.**

Bu sarflangan energiya ko‘rilayotgan harakat uchun tiklanmaydi. Yuqorida keltirilgan tengsizlik ana shu yo‘qotilgan energiya hisobiga bo‘ladi. Birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi yo‘qotilgan solishtirma energiya gidravlik bosimlar farqiga teng:

$$h_{1-2} = H_1 - H_2.$$

Yuqorida ko‘rilganga asosan

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

bundan

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

natijada quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{1-2}. \quad (3.46)$$

Olingan tenglama real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasidir. Bu tenglama ideal suyuqlik elementar oqimchasidan o‘ng tomondagi to‘rtinchli hadi  $h_{1-2}$ , bilan farq qiladi. Bu had 1-1 va 2-2 kesimlar orasida bosimning kamayishini ko‘rsatadi. Ideal suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchi hisobga olinmagani uchun yuqorida aytilgan had bo‘lmaydi.

### 3.10. Real suyuqliklar oqimi uchun Bernulli tenglamasi. Koriolis koeffitsiyenti

Oqim cheksiz ko‘p elementar oqimchalaridan tashkil topganligidan shu oqimchalar energiyalarining harakat kesimi bo‘yicha integralini olish yo‘li bilan oqim uchun Bernulli tenglamasini hosil qilish mumkin:

$$\int_{\omega_1} \frac{u_1^2}{2g} d\omega + \int_{\omega_1} \frac{p_1}{\gamma} d\omega + \int z_1 d\omega = \int_{\omega_2} \frac{u_2^2}{2g} d\omega + \int_{\omega_2} \frac{p_2}{\gamma} d\omega + \int z_2 d\omega + \int h_{1-2} d\omega. \quad (3.47)$$

Oqimning har bir elementar oqimchasida tezlikni hisoblash qiyin bo‘lgani uchun (3.47) tenglamadagi integrallarni hisoblash ham juda qiyinlashadi. Shuni nazarga olib, oqim uchun Bernulli tenglamasida tezliklarni o‘rtacha tezlik  $\vartheta$  bilan almashtiriladi. Bu

esa Bernulli tenglamasi foydalilaniladigan 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,  $u_1 = 10 \text{ m/s}$ ,  $u_2 = 11 \text{ m/s}$ ,  $u_3 = 9 \text{ m/s}$ ,  $u_4 = 12 \text{ m/s}$ ,  $u_5 = 8 \text{ m/s}$  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  $v^2 = 100 \text{ m}^2/\text{s}$ . 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:

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

Bu tengsizlikni integrallash yo'li bilan ham isbotlash mumkin. (Bunday isbotni talabalarning o'zlarini bajarishini taklif qilamiz). Bu xatoni tuzatish uchun Bernulli tenglamasining birinchi hadiga  $\alpha$  koeffitsiyentini kiritamiz. Bu koeffitsiyent tezlikning bir tekis miqdorda bo'lmasligini ifodalaydi va Koriolis koeffitsiyenti deb ataladi. U holda

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

Shunday qilib, yuqorida aytilganlarga asosan (3.47) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + H_{1-2}, \quad (3.48)$$

bu yerda  $\alpha_1, \alpha_2$  – birinchi va ikkinchi kesimlarda tezlikning notekis tarqalganini hisobga oluvchi koeffitsiyent;  $H_{1-2}$  – birinchi va ikkinchi kesimlar orasida naporning (bosimning) kamayishi.

Oqim uchun Bernulli tenglamasida qolgan boshqa hadlar elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasida qanday atalsa, bu yerda ham shunday ataladi. Bu tenglama gidrodinamika masalalarini hal qilishda eng muhim tenglama bo'lib, u barqaror harakatlar uchun yozilgan va tezlik harakat kesimi bo'yicha qancha kam o'zgarsa, shuncha kam xatolik beradi.

### 3.11. Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi

Odatda, harakat yo'naliishi bo'yicha bosim kamayib boradi. Suyuqliklarda hajmiy siqilish koeffitsiyenti  $\beta$ , juda kichik bo'lqani uchun bu o'zgarish suyuqlikning fizik xossalariiga 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 xossalariiga, birinchi galda uning solishtirma og'irligiga ta'sir qiladi. Ammo gaz oqimining ko'ndalang kesimi bo'yicha tezlik deyarli o'zgarmaydi. Shuning uchun gazlarda

$\alpha \approx 1$  bo‘ladi. Gazlar uchun tezlik, bosim, solishtirma og‘irlik tez o‘zgaradi uchun birinchi va ikkinchi kesim (3.16-rasm) orasidagi masofani cheksiz kichik  $\Delta$  deb olamiz. U holda Bernulli tenglamasi differentialsal ko‘rinishda quyidagicha yoziladi:

$$d\left(\frac{g^2}{2g}\right) + \frac{dp}{\gamma} + dz - dh_{i-2} = 0 \quad (3.49)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} d\left(\frac{g^2}{2g}\right) &= \lim_{\Delta \rightarrow 0} \left( \frac{g_i^2 - g_{i-1}^2}{2g} \right), \\ d\left(\frac{p}{\gamma}\right) &= \lim_{\Delta \rightarrow 0} \left( \frac{p_i - p_{i-1}}{\gamma} \right), \\ dz &= \lim_{\Delta \rightarrow 0} (z_i - z_{i-1}). \end{aligned}$$

Endi (3.49) tenglamadan integral olamiz. U holda (3.49) quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\int d\left(\frac{g^2}{2g}\right) + \int d\left(\frac{p}{\gamma}\right) + \int dz - \int dh_{i-2} = const \quad (3.50)$$

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

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

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

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

bo‘ladi. Bu tenglikdan

$$\gamma = p^n \frac{\gamma_0}{p_0}, \quad (3.51)$$

bu yerda  $n$  - politropiya ko‘rsatkichi;  $\gamma_0$  – boshlang‘ich holatdag‘i solishtirma og‘irlik;  $p_0$  – boshlang‘ich holatdag‘i bosim. Oxirgi munosabatdan foydalanimiz va  $\gamma_0$ ,  $p_0$  o‘zgarmas ekanligini hisobga olib, ikkinchi integralni quyidagicha hisoblaymiz:

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

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

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

Natijada (3.40) tenglama quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\frac{g^2}{2g} + \frac{n}{n-1} \frac{p}{\gamma} + z - h_* = const \quad (3.52)$$

Tenglamani ikkita kesim uchun yozamiz:

$$\frac{g_1^2}{2g} + \frac{n}{n-1} \frac{p_1}{\gamma_1} + z_1 = \frac{g_2^2}{2g} + \frac{n}{n-1} \frac{p_2}{\gamma_2} + z_2 + h_{1-2}. \quad (3.53)$$

Bu tenglama real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasidir. Suyuqlik uchun Bernulli

tenglamasi uchta qiymat  $\vartheta$ ,  $p$ ,  $z$  ni bog‘lagan bo‘lsa, bu tenglama to‘rtta qiymat  $\vartheta$ ,  $p$ ,  $z$ ,  $\gamma$

ni bog‘laydi. Shuning uchun gazlar harakati tekshirilganda Bernulli tenglamasi (3.21) bilan birgalikda foydalaniladi.

### 3.12. Gidravlik va pezometrik qiyaliklar haqida tushuncha

Gidravlikada hisoblash ishlarini bajarishda gidravlik  $I$  va pezometrik  $I_p$  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:

$$I_{1-2} = \frac{\left( \alpha_1 \frac{g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left( \alpha_2 \frac{g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \right)}{l_{1-2}} = \frac{H_{1-2}}{l_{1-2}} \quad (3.54)$$

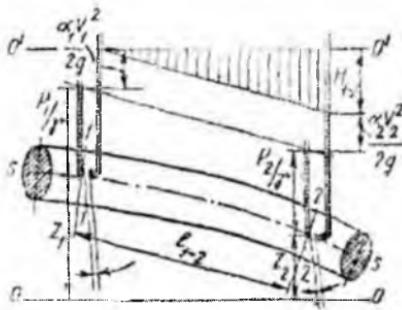
bu yerda  $l_{1-2}$  – birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi masofa;  $H_{1-2}$  – shu masofa orasida dam (bosim) ning pasayishi.

Agar bosim chizig'i egri chiziq bo'lsa, u holda gidravlik qiyalik differentsiyal ko'rinishda yoziladi:

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

Pezometrik chiziqning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan pasayishi pezometrik qiyalik deb ataladi. Birinchi va ikkinchi kesim orasidagi (3.15-rasm) o'rtacha pezometrik qiyalik quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{p_{1-2}} = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{l_{1-2}}. \quad (3.55)$$



### 3.16-rasm Gidravlik va pezometrik nishabliklar.

Pezometrik qiyalik  $I_p$  pezometrik chiziq egri chiziq bo'lganda differentsiyal ko'rinishda aniqlanadi:

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

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

## 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 qovushoqlik 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 (3.17-rasm), ya’ni harakat tekis bo‘ladi. 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi suyuqlik ustuniga ta’sir qiluvchi kuchlar:

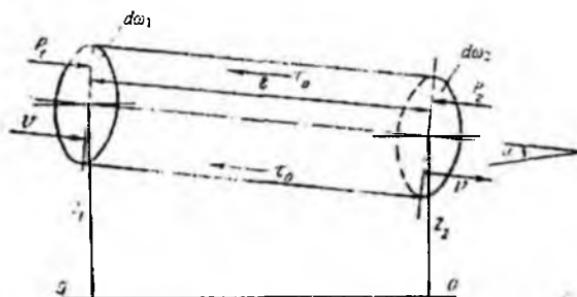
1)  $P_1 = p_1$  va  $P_2 = p_2 \omega$  - bosim kuchlari;

2)  $G = \gamma \omega_1$  - og‘irlilik kuchi;

3)  $T = \tau \pi D l$  - ishqalanish kuchidir.

1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi suyuqliknинг muvozanat holati tenglamasi unga ta’sir qilayotgan kuchlar orqali quyidagicha yoziladi:

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



3.17- rasm. Gidravlik yo‘qotish tushunchasiga doir.

$\sin \alpha = \frac{z_1 - z_2}{l}$  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:

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

Bu tenglamani (3.48) tenglama bilan solishtirsak va uni tekis harakat ( $v_1 = v_2$ ) uchun qo‘llasak, gidravlik yo‘qotish uchun quyidagi munosabatni olamiz:

$$h_{1-2} = \frac{\tau \pi D l}{\gamma \omega} \quad (3.56)$$

bu yerda  $l$  – oqim uzunligi;  $D$  – quvur diametri. Gidravlik yo‘qotish, odatda, ikki turga ajratiladi:

1. **Uzunlik bo‘yicha** (ishqalanish kuchiga sarf bo‘lgan) yo‘qotish oqim uzunligi bo‘yicha harakat hisobiga vujudga keladi, va uning uzunligiga bog‘liq bo‘ladi. Bu yo‘qotish (3.56) formula ko‘rinishida ifodalanadi.

2. **Mahalliy qarshilik** oqimning ayrim qismlarida notekis harakat hisobiga vujudga keladi. Notekis harakatni vujudga keltiruvchi qismlar quvur yoki o‘zanning kesim shakllari, o‘zgargan joylari (tirsaklar, to‘sqliqlar, 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

$$H_n = H_l + H_m \quad (3.57)$$

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 proportsional qilib olinadi.

### 3.14. Tezlik va sarf o‘lchash usullari hamda asboblari

Suyuqlik sarfini va tezligini o‘lchashning eng oson usuli hajmiy va og‘irlik usullaridir.

1. **Hajmiy usulda** tekshirilayotgan oqimdan suyuqlik maxsus darajalangan idish (menzurka) ga tushadi. Idishning to‘lishi vaqt 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 (3.4) formula bilan aniqlanadi.

2. **Og‘irlilik usulida** biror idishga oqimdan suyuqlik tushiriladi. Tarozida o‘lhash yo‘li bilan idishdagi suyuqlikning og‘irligi topiladi. Idishning to‘lishi vaqt  $T$  bo‘lsa, og‘irlilik sarfi quyidagiga teng:

$$G = \frac{GV}{T}$$

Suyuqlikning hajmiy sarfi og‘irlilik bo‘yicha sarfini solishtirma og‘irlikka bo‘lish yo‘li bilan aniqlanadi:

$$Q = \frac{G}{\gamma}$$

Bu usullar, albatta, kichik miqdordagi sarflarni o‘lhash uchun qo‘llaniladi. Katta sarflarni o‘lhash 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‘lhash 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 (3.18-rasm). Bu asbob talabga qarab vertikal yoki gorizontal joylashtiriladi. Uning gorizontal holdagisini ko‘ramiz.

Venturi suv o‘lchagichi ikkita bir xil  $d_1$  diametrli 1 va 2 quvur bo‘laklaridan tashkil topgan bo‘lib, ular 3 va 4 diffuzorlar hamda kichik  $d_2$  diametrli quvur bo‘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:

$$\frac{\frac{g_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma}}{2} = \frac{\frac{g_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma}},$$

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

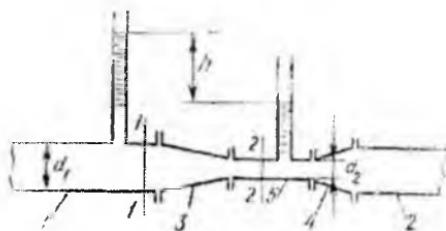
$$h = \frac{\vartheta_2^2}{2g} - \frac{\vartheta_1^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasi (3.14) ga asosan

$$\vartheta_1 = \vartheta_2 \frac{\omega_2}{\omega_1},$$

u holda

$$h = \frac{\vartheta_2^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \right]$$



3.18- rasm. Venturi suv o'lchagichisi

bundan 2-2 kesimdag'i tezlikni topamiz:

$$\vartheta_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}} \quad (3.58)$$

U holda suyuqlik sarfi quyidagicha aniqlanadi:

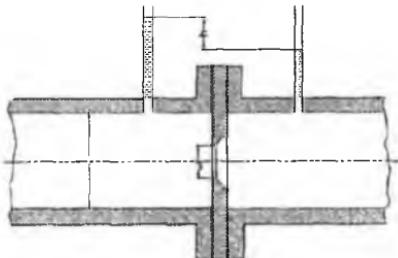
$$Q = \vartheta_2 \omega_2 = \omega_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}} \quad (3.59)$$

Bu formula ideal suyuqlik uchun chiqarilgan. Haqiqatda ikki kesim o'rtasida bosim pasayishi va tezliklarning kesim bo'yicha bir tekis tarqalmaganligi uchun

yuqoridagi formula bo'yicha olingan natija haqiqiy sarfdan farq qiladi. Shuning uchun sarf formulasiga tuzatma koeffitsiyent  $m$  ni kiritamiz:

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

$m$  koeffitsiyentining qiymati turli suv o'lchagichlar uchun har xil bo'lib, ular tegishli suv o'lchagich uchun tajribada aniqlab



3.19- rasm Suv o'lchagich shayba.

qo'yiladi. Hisoblash ishlardida sarf, odatda, quyidagi soddalashtirilgan formula bilan hisoblanadi:

$$Q = c \sqrt{h}, \quad (3.60)$$

bu yerda

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

koeffitsiyent suv o'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'rtafiga o'rnatilgan halqadan iborat bo'lib (3.19- 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 differentials manometr o'rnatilgan bo'lib, ular diafragmaning ikki tomonidagi bosimlar farqini aniqlashga yordam beradi.

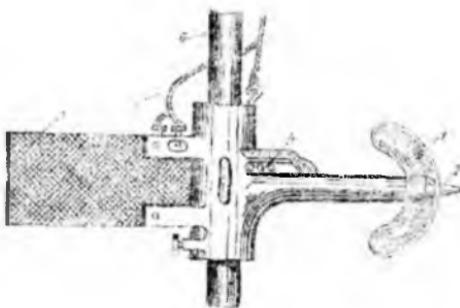
Sarf pezometrlardagi suyuqlik sathlarining farqi orqali, quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q = c_1 \sqrt{h}. \quad (3.61)$$

$s_1$  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 (3.20-rasm). Vertushka suv oqimiga to'g'ri yo'naltirilishi uchun korpus 4 ga qanotcha o'rnatilgan. Vertushkadan o'tkazgichlar 3 elektr qo'ng'iroq tortilgan bo'lib, kurakchalar 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 (3.20-rasm). Bu yuzalarning geometrik markazlarida tezliklarni vertushka yordamida o'lchab, ularni yuzalarga ko'paytirsak, har bir kesim bo'yicha sarf kelib chiqadi:

$$q_1 = \Delta\omega_1 \vartheta_1; \quad q_2 = \Delta\omega_2 \vartheta_2; \quad \dots \dots \dots \quad q_n = \Delta\omega_n \vartheta_n$$



3.20- rasm. Pirildoq

Kanalda oqayotgan suyuqlik sarfi bu sarflarning yig'indisiga tengdir;

$$Q = \sum_{j=1}^n q_j = \Delta\omega_1 \vartheta_1 + \Delta\omega_2 \vartheta_2 + \Delta\omega_3 \vartheta_3 + \dots + \Delta\omega_n \vartheta_n \quad (3.62)$$

Bu usul gidrometrik o'lhashlarda eng ko'p qo'llaniladigan usuldir.

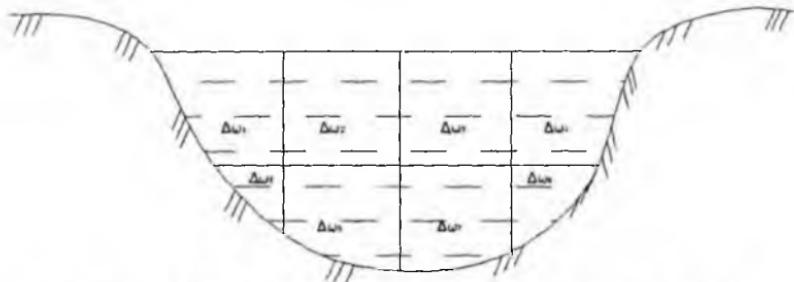
**6. Pito naychasi** uchi to'g'ri burchak hosil qilib egilgan naycha bo'lib, uning egilgan uchi suyuqlik oqimi yo'nalishiga qarama-qarshi qilib qo'yiladi. Naychaning ikkinchi uchi suyuqlikdan tashqariga chiqib turadi. (3.21-rasm a). Bu holda ozod sirtda

va naychadagi suyuqlik sathida bosim atmosfera bosimga teng. Shuning uchun naychadagi suyuqlikning balandligi  $h$  oqimning tezlik bosimini beradi, ya'ni

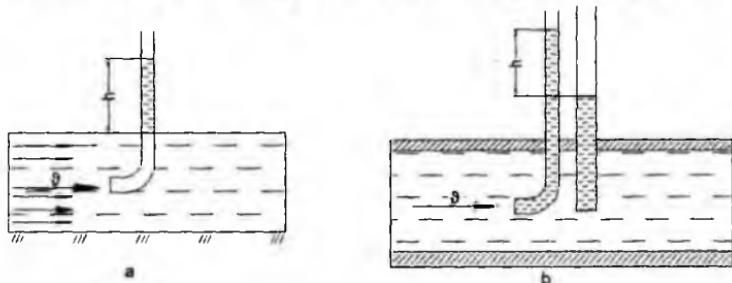
$$h = \frac{g^2}{2g}$$

Bundan tezlikni topish formulasi kelib chiqadi:

$$\vartheta = \sqrt{2gh} \quad (3.63)$$



*3.21-rasm. Kanallarning kesimini elementar yuzalarga bo'lish.*



*3.22-rasm. Tezlik o'lchagich naychalar.*

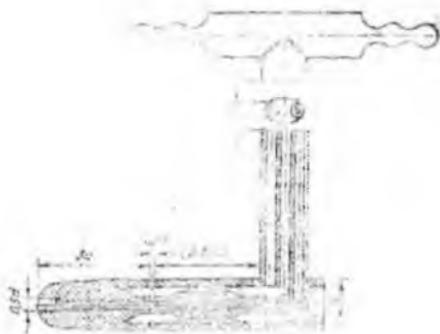
Tezlikning haqiqiy miqdori (suyuqlik tushirilgan naycha harakat tartibini buzganligi uchun) oxirgi formula bilan hisoblangan miqdorga to'g'ri kelmaydi. Shuning uchun bu formulaga tuzatish koeffitsiyenti  $\alpha$  kiritiladi:

$$\vartheta = \alpha \sqrt{2gh} \quad (3.64)$$

bu yerda  $\alpha$  – 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 (3.22-rasm, b) va ikkita naychadan iborat bo'ladi. Ulardan biri Pito naychasi va ikkinchisi pezometrdir.



*3.23- rasm. Prandtl naychasi*

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:

$$\vartheta = \alpha \sqrt{2gh} \quad (3.65)$$

Hozirgi mavjud asboblarda bu ikkita naycha bitta katta naycha ichiga joylashtirilgan (3.23-rasm) bo‘lib, ularning uchlari mikromanometr yoki differentsiyal manometrlarga tutashtirilgan. Agar manometrlardagi suyuqlik oqayotgan suyuqlikdan farq qilsa, Prandtl naychasing uchi tushirilgan nuqtadagi tezlik quyidagi formula bilan topiladi:

$$\vartheta = \alpha \sqrt{2gh \left( \frac{\gamma_1}{\gamma} - 1 \right)} \quad (3.66)$$

bu yerda  $h$  – difmanometr naychalaridagi sathlar farqi;  $\gamma_1$  va  $\gamma$  – difmanometrdagi va tekshirilayotgan (oqayotgan) suyuqliklar solishtirma og‘irliklari;  $\alpha$  – tajribadan topiladigan qiymati 1 dan 1,04 gacha o‘zgaruvchi koeffitsiyent. Prandtl naychasi yordamida suyuqlik oqimi kesimining har xil nuqtalarida tezlikni o‘lchab, bu kesim bo‘yicha tezlikning o‘zgarishini va sarfini topish mumkin.

### **III bob bo‘yicha nazorat savollari**

1. Bosimi teng sirtning tenglamasini ko‘rsating.
2. Qanday kuch zo‘riqish kuchi deyiladi?
3. Tezlik va sarf o‘lchash usullarining qanday turlari mavjud?
4. Gidravlik yo‘qotishning turlari.
5. Tezlik va sarf o‘lchash usullari
6. Pitonaychasi.

## IV 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.

### 4.1. Suyuqlik harakatining ikki tartibi. Reynolds kritik soni

Ko'p hollarda quvurlardagi suyuqlik tekis harakatda bo'ladi, ya'ni tezlik oqim yo'nalishi bo'yicha o'zgarmaydi. Bu holda harakatning qanday bo'lishiga, asosan, ichki ishqalanish kuchi ta'sir qiladi. Bu holda uning ikki kesimidagi bosimlar farqi ishqalanish kuchining va geometrik balandliklar farqining katta yoki kichikligiga bog'liq bo'ladi. Bu kuchlarning ta'sirida quvurlardagi harakat tezligi har xil bo'lishi mumkin. Tezlikning katta-kichikligiga qarab suyuqlik zarrachalari batartib yoki betartib harakat qiladi. Bu harakatlar, odatda, asosan ikki tartibli harakatga ajratiladi: laminar harakat va turbulent harakat.

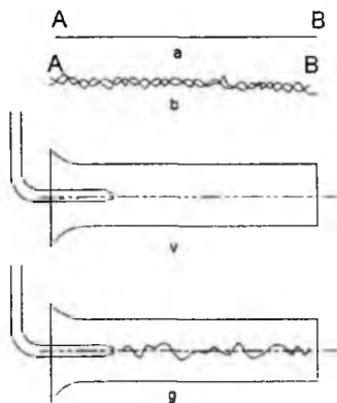
Laminar harakat vaqtida suyuqlik zarrachalari qavat-qavat bo'lib joylashadi va ular bir qavatdan ikkinchi qavatga o'tmaydi. Boshqacha aytganda, suyuqlik zarrachalari oqimlar harakatiga ko'ndalang yo'nalishda harakatlanmaydi va uni quyidagicha ta'riflash mumkin.

Agar harakat fazosida biror A nuqta tanlab olsak, shu nuqtada albatta suyuqlikning biror zarracha bo'ladi. Harakat natijasida shu zarracha  $A$  nuqtadan siljib uning o'mini boshqa zarracha egallaydi. Ikkinci zarracha ham  $A$  nuqtada to'xtab turmaydi va uning o'mini uchinchi zarracha egallaydi va hokazo. Endi  $A$  nuqtaga birinchi kelgan zarracha harakatlanib, biror  $B$  nuqtaga  $AB$  chizigi (4.1-rasm, a) bo'yicha kelsa, uning ketidan kelgan ikkinchi zarracha ham  $A$  nuqtadan  $B$  nuqtaga  $AB$  chizig'i bo'yicha kelsa, uchinchi zarracha ham aniq  $AB$  chizig'i bo'yicha yursa va  $A$  nuqtaga kelgan boshqa zarrachalar ham  $AB$  chizig'i orqali  $B$  nuqtaga kelsa, bunday harakat *laminar*

*harakat* deyiladi. Ba’zi vaqtida 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 chiziq bo‘yicha oqim ko‘rinishida ketadi (4.1-rasm, v).

Agar suyuqlikning tezligini oshirib borsak, harakat tartibi o‘zgarib boradi. Tezlik ma’lum bir chegaradan o‘tganidan keyin, zarrachalar kinetik energiyasi ko‘payib ketishi natijasida, ular ko‘ndalang yo‘nalishda ham harakat qila boshlaydi. Natijada zarrachalar o‘zi harakat qilayotgan qavatdan qo‘shti qavatga o‘tib, energiyasining bir qismmini 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.



4.1. 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 (4.1-rasm, b), ba’zi zarrachalar B nuqtaga kelmasligi ham mumkin. Yuqorida aytilgan usul

bilan quvurda oqayotgan suyuqlik oqimining boshlang'ich kesimida rang qo'shib yuborsak, u tezlikning ma'lum bir miqdordan boshlab egri chiziq bo'yicha ketadi (4.1-rasm, g). Tezlikni oshirishni davom ettirsak, rang suyuqlikda butunlay aralashib ketadi. Bundan ko'rinaldiki, 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 qovushoqlik kinematik koeffitsiyentiga nisbatidan iborat o'lchovsiz miqdor xarakterlar ekan. Bu miqdor olimning hurmatiga *Reynolds soni* deb ataladi va formulalarda  $Re$  bilan belgilanadi. Silindrik quvurlardagi oqim uchun Reynolds soni quyidagicha qisoblanadi:

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

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

$$Re = \frac{\rho d_{ekv}}{\nu} = \frac{4 \rho R}{\nu} \quad (4.2)$$

bu yerda  $d$  – quvurning ichki diametri;  $d_{ekv}$  – o'zan yoki nosilindrik quvurning ekviyalent diametri:  $d_{ekv} = 4R$ ;  $R$  – gidravlik radius.

Reynolds aniqlashicha, yuqorida aytilgan o'lchovsiz miqdorning kichik qiymatlarida laminar harakat bo'lib, uning oshib borishi natijasida u turbulent harakatga aylanadi. (4.1) dan ko'rinish turibdiki, Reynolds soni  $Re$  oshishi uchun yo tezlik, yoki quvur diametri ortish, yoki bo'lmasa qovushoqlik 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 turki 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 ehtiyyot choralarini ko'rilmashin, albatta turbulent bo'ladi. Bu son Reynolds yuqori kritik soni deb ataladi va  $Re_{kr,yu} = 10000$ ga teng bo'ladi. Bu songa qiyos qilib, yuqorida keltirilgan kritik son Reynolds quyi kritik soni  $Re_{kr,q} = 2320$  deb ataladi. Reynolds soni  $Re_{kr,q}$  dan kichik bo'lganda barqaror laminar harakat bo'ladi, u

$Re_{kr,yu}$  dan katta bo‘lganda esa turbulent harakat barqarorlashgan bo‘ladi. Agar Reynolds soni bu ikki miqdor o‘rtasida, ya’ni  $Re_{kr,q} > Re > Re_{kr,yu}$  bo‘lsa, turbulent harakat beqaror bo‘lib, bu holatni o‘tkinchi tartib deyiladi. Shunday qilib, suyuqlik harakatida asosan ikki tartib laminar va turbulent tartib mavjud. Bu tushunchani yana aniqroq ifodalasak, u holda uch xil tartib mavjud bo‘lib, ular Reynolds soniga bog‘liq:

- 1) laminar tartib  $Re < 2320$  da;
- 2) o‘tkinchi tartib  $2320 > Re > 10000$  da;
- 3) barqarorlashgan turbulent tartib  $Re > 10000$  da.

Suyuqlik harakatini tekshirishda va turli gidrosistemalarni hisoblashda harakat tartibining qanday bo‘lishiga qarab foydalaniladigan formulalar va miqdorlar turlicha bo‘ladi. Shuning uchun turli hisoblashlarni bajarishdan oldin harakatning laminar yoki turbulent tartibda ekanligini (4.1) formula yordamida aniqlab olish zarur bo‘ladi.

Suyuqliklarda ichki qarshiliklar ham harakat tartibiga qarab har xil hisoblanadi. Tajribalarning ko‘rsatishicha, laminar harakat vaqtida bosimning pasayishi o‘rtacha tezlikning birinchi darajasiga

$$H_{1-2} = k_L \theta,$$

turbulent harakatda esa uning  $n$  – darajasiga proporsional bo‘ladi.

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

bu yerda  $K_l$ ,  $K_T$  – laminar va turbulent harakat uchun proporsionallik koeffitsiyentlari;  $n$  – daraja ko‘rsatkichi; u 1,75 va 2 orasida o‘zgaradi. Reynolds soni ortishi bilan daraja ko‘rsatkichi  $n$  ortib boradi. Barqaror turbulent harakat bo‘lganda  $n = 2$  bo‘ladi.

#### **4.2. Gidrodinamik o‘xshashlik asoslari. Gidrodinamik hodisalarini modellash**

Texnikada gidravlik qurilmalarini yaratish yoki tabiatdagi biror voqeani tekshirish uchun labaratoriya sharoitida uning kuchaytirilgan modellarida tajribalar o‘tkaziladi va bu tajribalar natijasiga qarab asosiy qurilma yoki hodisa haqida xulosa chiqariladi. Modellarini yasash va ularda olingan natijalarini rostakam nusxaga o‘tkazish uchun model bilan rostakam hodisani bir-biri bilan bog‘lovchi qonuniyatlarini bilish zarur bo‘ladi. Rostakam nusxa bilan model o‘rtasidagi bu qonuniyatlar o‘xshashlik qonuniyatlar deb ataladi va ularni o‘xshashlik va modellash nazariyasini tekshiradi.

Ikki fizik jarayon o‘xshash bo‘lishi uchun uning barcha parametrlari ma’lum bir munosabatda bo‘lishi kerak va bu munosabatlar turli parametrlar uchun turlicha bo‘ladi.

Ikki xil voqeani bir-biriga o'xshash bo'lishi uchun birinchidan uning geometrik parametrlari o'xshash bo'lishi, ikkinchidan kinematik va dinamik parametrlari o'xshash bo'lishi kerak.

Misol uchun suvning tabiatda va texnikada kuzatilayotgan harakatda kavitatsiya hodisasi mavjud bo'lsa, uning modelida geometrik va kinematik o'xshashlik bo'lishidan tashqari xuddi shunday kavitatsiya hodisasi mavjud bo'lishi kerak. Hodisalarning o'xshashligi fizik o'xshashlik, vaqt o'xshashligi chegaraviy shartlarni o'xshashligini ham o'z ichiga olish kerak. Bular ikki o'xshash hodisalar uchun bir ismli miqdorlarning nisbatlari bir xil qiymatga ega bo'lishini taqozo qiladi. Masalan, bir hodisa uchun uzunlik o'lchamlari  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$  bo'lsin, birinchiga o'xshash ikkinchi hodisaning uzunlik o'lchamlari esa  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  bo'lsin. U holda agar

$$\frac{L_1}{l'_1} = \frac{L_2}{l'_2} = \frac{L_3}{l'_3} = \dots = \frac{L_n}{l'_n} = const \quad (4.3.)$$

bo'lsa bu hodisalar geometrik o'xshash bo'ladi. Xususan,  $l_1, l_2, \dots, l_n$  quvurning uzunligi, diametri, tezlik yoki boshqa parametrni o'lchanayotgan nuqtaning koordinatalari va

hokazo bo'lishi mumkun. Yuqorida aytilgan hodisalar uchun tezlik o'lchamlari  $\vartheta_1, \vartheta_2,$

$\vartheta_3, \dots, \vartheta_n$  va  $\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2, \mathcal{G}_3, \dots, \mathcal{G}_n$  bo'lsin.

Agar

$$\frac{\vartheta_1}{\mathcal{G}_1} = \frac{\vartheta_2}{\mathcal{G}_2} = \frac{\vartheta_3}{\mathcal{G}_3} = \dots = \frac{\vartheta_n}{\mathcal{G}_n} = const \quad (4.4.)$$

bo'lsa, bu hodisalar kinematik o'xshash bo'ladi. Xususan  $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n$  o'lchash olib borilayotgan nuqtalardagi tezliklardir.

Mazkur ikki hodisa uchun:

$$\frac{t_1}{t'_1} = \frac{t_2}{t'_2} = \frac{t_3}{t'_3} = \dots = \frac{t_n}{t'_n} = const \quad (4.5.)$$

bo'lsa, ularda vaqt o'xshashligi mayjud .

Yuqorida keltirilgan (4,3), (4,4) va (4,5) nisbatlarning tenligini ifodalovchi o'zgarmas miqdorlar o'xshashlik doimisi deb ataladi va uzunlik uchun  $\alpha_l$  tezlik uchun  $\alpha_v$  vaqt uchun at belgilar bilan belgilanadi. Shuningdek tezlanish uchun  $\alpha_a$  zichlik uchun  $\alpha_p$  qovushqoqlik uchun  $\alpha_u$  va hokazo o'xshashlik doimiyarini kirtish mumkin. O'xshashlik nazariyasida yuqorida keltirilgan o'xshashlik doimiyari 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 doimisidan yana bir farqi ular bir qancha turli o'lchamlar kombinatsiyasining nisbati sifatida qurilishi mumkin.

Masalan,

$$\frac{\vartheta_1 l_1 v_1}{\vartheta'_1 l'_1 v'_1} = \frac{\vartheta_2 l_2 v_2}{\vartheta'_2 l'_2 v'_2} = \dots = \frac{\vartheta_n l_n v_n}{\vartheta'_n l'_n v'_n} = const$$

Agar o'xshashlik aniqlovchisi oddiy o'lchamlar nisbati bilan ifodalansa, ular simplekslar deyiladi. Agar o'xshashlik aniqlovchisi o'lchamlar murakkab kombinatsiyalarining nisbati sifatida ifodalansa, u holda o'xshashlik kriteriyalari deyiladi. Misol sifatida Nyuton ikkinchi qonunini ko'ramiz. Birinchi hodisa uchun u

$$F_1 = m_1 \frac{d\vartheta_1}{dt_1} \quad (4.6.)$$

Ikkinci hodisa uchun esa

$$F_2 = m_2 \frac{d\vartheta_2}{dt_2} \quad (4.7)$$

Ikkinci hodisa uchun o'xshashlik doimiyari  $a_b$ ,  $a_m$ ,  $a_v$ ,  $a_t$  larni kirtsak, (4.7) birinchi hodisa parametrlari orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\alpha_f F_1 = \alpha m_1 \frac{ad}{at} m_1 \frac{d\vartheta_1}{dt_1}$$

yoki

$$\frac{\alpha_f \alpha_t}{\alpha_m \alpha_v} F_1 = m_1 \frac{d\vartheta_1}{dt_1} \quad (4.8)$$

(4.6.) bilan (4.8) lar ikki o'xshash hodisalar uchun yozilganligi sababli ular bir xil bo'lishi kerak. Buning uchun o'xshashlik doimiylaridan tashkil topgan quyidagi o'zgarmas miqdor birga teng bo'lishi kerak.

$$C = \frac{\alpha_f \alpha_i}{\alpha_s \alpha_g} = 1$$

bundan

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

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

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

bunga *Nyuton mezoni* deyiladi.

Gidrodinamik o'xshashlikni quyidagi kriterial miqdorlar aniqlaydi .

*Struxal mezoni* yoki *gomoxronlik mezoni*

$$Sh = \frac{l}{gt} \quad (4.9.)$$

*Reynolds mezoni*

$$Re = \frac{gl}{\nu} \quad (4.10)$$

*Eyler mezoni*

$$Eu = \frac{p}{\rho g^2} \quad (4.11)$$

*Frud mezoni*

$$Fr = \frac{g^2}{gl} \quad (4.12.)$$

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

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

$$\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial x} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + g \cos \alpha_x, \quad (4.13)$$

bu yerda  $g \cos\alpha$  og‘irlik kuchining  $O_x$  o‘qidagi proyektsiyasi. Bu tenglamaga (4.7) va (4.8) lardagi kabi o‘xshashlik doimiysini kiritsak, u quyidagi ko‘rinishga keladi

$$\frac{\alpha_r}{\alpha t} \frac{\partial u_r}{\partial t} + \frac{\alpha_r^2}{\alpha_i} (u_r \frac{\partial u_r}{\partial x} + u_v \frac{\partial u_r}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z}) = - \frac{\alpha_p}{\alpha_p \alpha_i} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\alpha_r \alpha_i}{\alpha_i^2} \nu \left( \frac{\partial^2 u_r}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right) + \alpha_g g \cos \alpha_r,$$

tenglamaning ikki tomoni  $\frac{\alpha_r^2}{\alpha_i}$  ga bo‘lsak, u quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\frac{\alpha_r}{\alpha_i \alpha_r} \frac{\partial u_r}{\partial t} + U_x \frac{\partial u_r}{\partial x} + U_y \frac{\partial u_r}{\partial y} + U_z \frac{\partial u_r}{\partial z} = - \frac{\alpha_p}{\alpha_p \alpha_i} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\alpha_r}{\alpha_i} \nu \left( \frac{\partial^2 u_r}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right) + \frac{\alpha_r \alpha_i}{\alpha_i^2} g \cos \alpha_r, \quad (4.14)$$

Ikki hodisa o‘xshash bo‘lsa, ularni ifodalovchi tenglamalar bir xil bo‘ladi. Ikki hodisa o‘xshashligidan (4.13) va (4.14) tenglamalar bir xil bo‘lishi kerakligi kelib chiqadi. Bundan ko‘rinadiki

$$1) \frac{\alpha_r}{\alpha_i \alpha_r^2} = 1; 2) \frac{\alpha_p}{\alpha_i \alpha_r^2} = 1; 3) \frac{\alpha_r}{\alpha_i \alpha_o} = 1; 4) \frac{\alpha_r \alpha_i}{\alpha_i^2} = 1.$$

Birinchi kombinatsiyadagi o‘xshashlik doimiyarini o‘z o‘rniga qo‘ysak

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

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

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

Ikki kombinatsiyadan

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

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

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

Uchinchi kombinatsiyadan

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

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

$$Re = \frac{gl}{\nu} = const$$

To'rtinchı 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

$$\varphi_1(Sh, Eu, Re, Fr) = 0 \quad (4.15)$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Agar harakat barqaror bo'lsa u holda (4.15) ning o'mniga

$$\varphi_2(Eu, Re, Fr) = 0 \quad (4.16)$$

munosabatdan foydalamiz.

(4.15) va (4.16) munosabatlar kriterial tenglamalar deb ataladi va Nave - Stoks tenglamasini yechib bo'lmaydigan hollarda ulardan foydalaniladi. Bu munosabatlarning Nave-Stoks tenglamasidan farqi shundaki, ular kriterial miqdorlar o'rtasidagi bog'lanishni noaniq ko'rinishda ifodalaydi. Nave-Stoks teglamasi 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 voqeanning modelini laboratoriya sharoitida yaratib, unda tajriba o'tkazamiz. Tajribadan olingan natijalarni esa (4.15) yoki (4.16) tenglamani aniqlangan ko'rinishga keltirish uchun foydalanamiz. Ko'p hollarda (4.16) tenglamani ham soddalashtirib, og'irlilik kuchi harakatga kam ta'sir etadigan hollarga

$$\varphi_3(Eu, Re) = 0 \quad (4.17)$$

ko'rinishida qo'llaymiz. Oxirgi tenglama yuqori bosim ostida bo'ladigan hodisalar uchun yaqin keladi.

#### **IV bob bo‘yicha nazorat savollari**

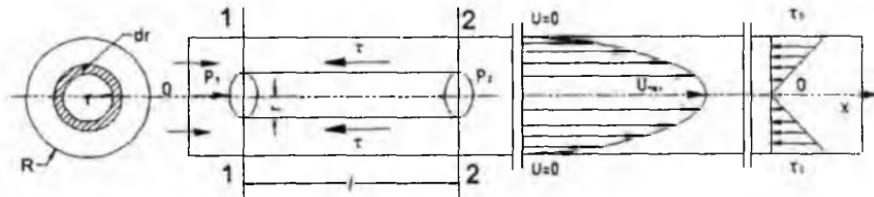
- 1.Suyuqlik harakatinig tartiblari.
2. Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi
- 3.Laminar harakat tartibining xususiyatlari.
- 4.Reynolds soni.
- 5.Turbulent harakat tartibining xususiyatlari.

### 5.1. 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 suyuqliknini 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 (5.1-rasm). Bu naychaning 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. Radusi  $R$  bo'lgan tekshirilayotgan quvurdagi harakat gorizontal va tekis bo'lsin. U holda elementar naychaga ta'sir qilayotgan kuchlar



**5.1-rasm. Laminar harakatda tezlikning quvur kesmi bo'yicha taqsimlanishi**

1-1 kesimdagisi bosim kuchi

$$P_1 = p_1 d\omega$$

2-2 kesimdagisi bosim kuchi

$$P_2 = p_2 d\omega$$

ishqalanish kuchi

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

dan iborat.

U holda elementar naychaning muvozanat shartidan quyidagini yoza olamiz.

$$P_1 - P_2 - T = 0 \quad (5.1)$$

Elementar naycha kesimi  $dS = \pi r^2$  ekanligini nazarda tutib, (5.1) dan quyidagi tenglamani keltirib chiqaramiz:

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

Bu tenglamanadan ushbu differentialsial tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$\frac{du}{dr} = -\frac{r}{2\mu} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (5.2.)$$

Oxirgi tenglamaning o‘zgaruvchilarini ajratamiz

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

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

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^2 - R^2) \quad (5.3.)$$

Hosil qilingan tenglama parabola tenglamasi bo‘lib, u tezlikning silindrik quvur kesimi bo‘yicha taqsimlanishini ko‘rsatadi. (5.3) dan ko‘rinib turibdiki, quvurdagi harakat tezligi  $r = 0$  da maksimumga erishadi

$$u_{max} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} R^2 \quad (5.4.)$$

Demak, silindrik quvurda laminar harakat tezligi ko‘ndalang kesimda parabola qonuni bo‘yicha taqsimlangan bo‘ladi. Tezlikning maksimal qiymati esa quvurning o‘qi bo‘yicha yo‘nalgan bo‘ladi. Endi quvurda oqayotgan suyuqlikning sarfini topamiz. Eni  $dr$  ga teng bo‘lgan halqa bo‘yicha oqayotgan (5.1-rasm) elementar sarf quydagiga teng bo‘ladi:

$$dQ = 2\pi r dr u$$

Oxirgi tenglikka (5.3) 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 0dan  $Q$  gacha o‘ng tomonini esa 0dan  $R$  gacha integrallab

$$Q = -\int_0^R 2\pi r \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^2 - R^2) dr = -\pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \int_0^R (r^2 - R^2) r dr = \pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \left( \frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4} \right) = \frac{\pi R^4}{8\mu l} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (5.5.)$$

munosabatni olamiz.

Bu holda o'rtacha tezlikni shunday topamiz:

$$\varrho = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8 \mu l \pi R^2} = \frac{p_1 - p_2}{8 \mu l} R^2 \quad (5.6.)$$

(5.6) va (5.4) munosabatlarni solishtirib quvurda laminar harakat vaqtida o'rtacha tezlik bilan maksimal tezlik orasidagi munosabatni topamiz:

$$g = \frac{u_{\max}}{2} \quad (5.7.)$$

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

## 5.2. Quvur uzunligi bo'yicha bosimning pasayishi (Puazeyl formulasasi)

Endi quvurda oqayotgan suyuqlik enegiyasining ishqalanishni yengishga sarflanishini tekshiramiz. Avval quvur kesimi bo'yicha ishqalanish kuchining taqsimlanishini ko'ramiz. Buning uchun Nyuton qonuni formulasiga tezlik formulasasi (5.3) ni qo'yamiz.

U holda,

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = \frac{p_1 - p_2}{2l} r \quad (5.8.)$$

Bu formuladan ko'rinish turibdiki, ishqalanish kuchi quvur o'qida nolga teng bo'lib, uning o'qidan devorlariga qarab chiziqli ortib boradi va devor sirtida eng katta qiymatga erishadi (5.1-rasm) (3.56) tenglamada silindrik quvurdagi uzunlik bo'yicha gidravlik yo'qotishni ishqalanish kuchi orqali berilgan edi. Endi bu formulaga (5.8) munosabatni qo'ysak.

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

Kesimlardagi bosim farqi ( $p_1 - p_2$ ) ni (5.6) formuladan o'rtacha tezlik orqali ifodalasak:

$$p_1 - p_2 = \frac{2\mu l}{R^2} g = \frac{32\mu l}{D^4} g$$

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

$$H_t = \frac{8\mu l}{\gamma D^4} g \quad (5.9.)$$

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

$$\frac{H_t}{l} = \frac{32\nu}{gD^2} g \quad (5.10)$$

va oxirgi tenglikni quyidagicha yozamiz:

$$J = \frac{232\nu}{gD2Dg} g^2 = \frac{64\nu}{gD2gD} g^2$$

Silindrik quvurlar uchun Reynolds soni

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

ko‘rinishda yozilgani uchun

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

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

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (5.11)$$

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

$$\begin{aligned} H_t &= \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} \\ J &= \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} \end{aligned} \quad (5.12)$$

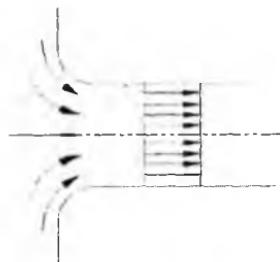
Shunday qilib, laminar harakat vaqtida quvur uzunligi bo‘yicha bosimning pasayishi va gidravlik qiyalik solishtirma kinetik energiyaga chiziqli bog‘liq ekan.

### 5.3. Oqimning boshlang‘ich bo‘lagi.

Yuqorida aytilib o‘tilgan harakat qonunlari quvurdagi barqarorlashgan laminar oqimlar uchun to‘g‘ridir. Haqiqatda esa, quvurga endi kirgan suyuqlik boshlang‘ich kesimidan 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) qatlama deb ataluvchi devor

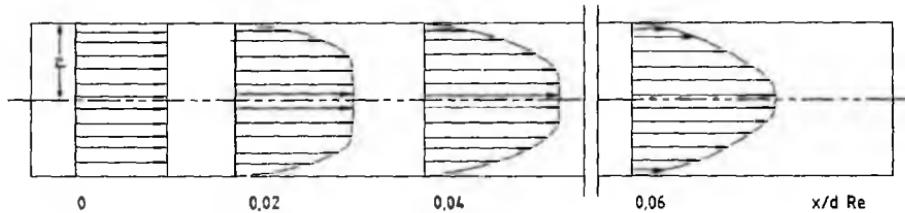
ustidagi yupqa qavatdagina buziladi. Bu qavatda suyuqlikning devorga yopishishi natijasida tezlik keskin kamayib, devorda nolga tenglashadi. Shuning uchun kirish qismida tezlik chizig'i to‘g‘ri chiziq kesmasi (5.2-rasm) bilan aniq ifodalanadi.



*5.2-rasm. Naycha kirishidagi tezlik taqsimotiga doir.*

Kirish qismidan uzoqlashgan sari devorlardagi ishqalanish kuchi ta’sirida chegara qatlama yaqin qavatlarda harakat sekinlashib boradi va natijada bu qatlarning 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 qavatlarda tezlik deyarli bir xil bo‘lgani holda (oqayotgan suyuqlikning harakat miqdori o‘zgarmas bo‘lgani uchun) chegara qatlamda tezlik kamaygani sababli yadroda tezlik oshadi.

Shunday qilib, quvurning o‘rtा qismida (yadroda) tezlik oshib boradi, devor yaqinida o‘sib boruvchi chegara qatlamda kamayadi. Bu jarayon chegara qatlam oqim kesimini butunlay egallab olmaguncha va yadro butunlay yo‘q bo‘lib ketguncha davom etadi (5.3-rasm).



*5.3-rasm. Laminar harakatning quvurda rivojlanib borishiga doir chizma*

Shundan keyin oqimning rivojlanishi tugab, tezlik chizig'i odatdagи 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:

$$L_{\text{bou}} = 0,028 R_e D \quad (5.13)$$

Bu formuladan ko'rindiki, boshlang'ich bo'lak Reynolds soniga va qurvurning diametriga proporsional ekan. Gidrotexnika kursida bu masalani nazariy usul bilan hal qilingan bo'lib, olingan formulalar tajribada qiymatlarga juda yaqin keladi.

#### 5.4. Tekis va halqasimon tirqishlarda suyuqlikning laminar harakati.

Yuqorida biz laminar harakatning eng sodda turlaridan biri silindrik quvurdagi tekis harakatni ko'rgan edik. Texnikada esa murakkab harakatlar ko'p ushraydi. Bularga tekis va halqasimon tirqishlardagi harakatlarni misol qilib keltirish mumkin. Bunday harakatlar gidravlik mashinalar va agregatlarni germetiklash, ularning harakatlanuvchi elementlarini mustahkam berkitish ishlari orada tirqish qoldirib bajariladi. Porshenli nasoslar va gidrouzatmalarda plunjер bilan silindr orasidagi tirqish ham yuqoridagi aytilgan harakatlarga misol bo'la oladi.

Uzunligi  $l$ , eni  $b$ , balandligi  $c$  bo'lgan tekis tirqishdagi laminar, bir tekis harakatni ko'ramiz (5.4-rasm).

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

$$P_1 = p_1 b y$$

2-2 kesimi bo'yicha

$$P_2 = p_2 b y$$

bosim kuchlari ta'sir etadi.

Parallelepipedning ustki sirtiga

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

va ostki sirtiga

$$T_2 = \tau_0 b l$$

ishqalanish kuchlari ta'sir etadi va ular ham  $Ox$  o'qi bo'yicha yo'naligan bo'ladi. Ko'rيلотган hajmdagi suyuqlikning muvozanatda bo'lishi sharti bo'yicha yuqorida keltirilgan kuchlardan quyidagi tenglama hosil qilinadi.

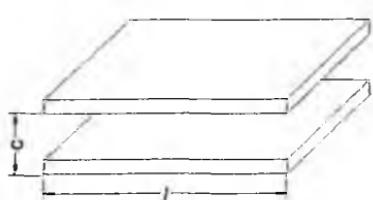
$$P_1 - P_2 - T_1 - T_2 = 0 \quad (5.14)$$

Bu tenglama quyidagi ko'rinishga keladi.

$$\frac{du}{dy} = -\frac{P_1 - P_2}{\mu l} y + \frac{\tau_0}{\mu} \quad (5.15)$$

Suyuqlikning qovushoqlik shartiga asosan tirqishning pastki devorida ( $y=0$ ) tezlik nolga teng. (5.15) tenglamaning chap tomonini  $\theta$  dan  $u$  gacha, o'ng tomoni  $\theta$  dan  $y$  gacha integrallab, quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{P_1 - P_2}{2\mu l} y^2 + \frac{\tau_0}{\mu} y \quad (5.16)$$



**5.4-rasm. Tekis tirqishda suyuqlikning laminar harakatiga doir chizma.**

Ikkinci devorda ( $y=c$ ) ham tezlik nolga teng. Bu shartdan foydalanim ushbu tenglikni yozamiz.

$$\theta = \frac{P_1 - P_2}{2\mu l} c^2 + \frac{\tau_0}{\mu} c.$$

Oxirgi tenglikdan  $\tau_0$  ni topamiz.

$$\tau_0 = \frac{P_1 - P_2}{2l} c$$

va (5.16) ga qo'yamiz. Natijada tezlik uchun quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{P_1 - P_2}{2\mu l} y(y - c) \quad (5.17)$$

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

$$u_{\max} = \frac{P_1 - P_2}{8\mu l} c^2 \quad (5.18)$$

Suyuqlik sarfini topish uchun qaliligi  $dy$  ga teng bo'lgan elementar qavat olib, uning ko'ndalang kesimidan oqayotgan suyuqlikning sarfini topamiz.

$$dQ = bdyu$$

U holda suyuqlik sarfi quyidagicha aniqlanadi.

$$Q = \int_s^c dQ = b \int_0^c u dy = b \int_0^c \frac{P_1 - P_2}{2\mu l} (c - y) dy = b \frac{P_1 - P_2}{2\mu l} \int_0^c (c - y) dy = \frac{P_1 - P_2}{2\mu l} b \left( \frac{c^2}{2} - \frac{c^2}{3} \right) = \frac{P_1 - P_2}{12\mu l} c^3 b \quad (5.19)$$

Bu formula yordamida tirkishdan oqib ketayotgan suyuqlik miqdorini aniqlash mumkin.

O'rtacha tezlikni topish uchun sarfni oqimning kesimiga bo'lamiz, ya'ni

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{P_1 - P_2}{12\mu l} \cdot \frac{c^3 b}{cb} = \frac{P_1 - P_2}{12\mu} c^2 \quad (5.20)$$

(5.18) va (5.20) tenglamalarni o'zarlo taqqoslab, o'rtacha tezlik bilan maksimal tezlik o'rtasidagi bog'lanishni topamiz:  $\vartheta = \frac{2}{3} u_{\max}$ . Bundan ko'rindaniki, ko'riliayotgan holda maksimal tezlik o'rtacha tezlikdan bir yarim marta katta ekan.

Tekis tirkishdan oqayotgan suyuqlik uchun gidravlik yo'qotishni topamiz.

$$H_e = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

(5.20) dan  $(P_1 - P_2)$  ni o'rtasha tezlik orqali quyidagicha ifodalab

$$P_1 - P_2 = \frac{12\mu l}{c^2} \vartheta$$

uni gidravlik yo'qotish formulasiga qo'ysak, ushbu munosabat hosil bo'ladi.

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

Tirkishning gidravlik radiusi

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

bo'lishni va Reynolds soni  $R_e = \frac{94R}{V}$  ni nazarga olib, gidravlik yo'qotishni quyidagicha yozamiz:

$$H_e = \frac{12\mu l}{gc^2} \vartheta = \frac{24l}{94R} \frac{\vartheta^2}{2g} = \frac{96}{Re} \frac{l}{Re} \frac{\vartheta^2}{2g} \quad (5.21)$$

Agar silindrik quvurdagi laminar harakat tekshirilgandagi kabi

$$\lambda = \frac{96}{Re} \quad (5.22)$$

belgilashni kiritsak, ushbu munosabatni olamiz.

$$H_e = \lambda \frac{l}{4R} \frac{\vartheta^2}{2g} \quad (5.23)$$

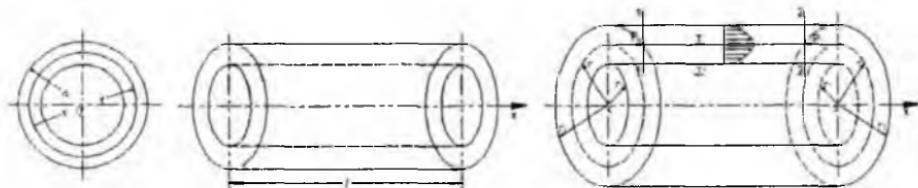
Oxirgi munosabatdan foydalanib gidravlik qiyalikni hisoblash formulasini olamiz.

$$J = \frac{H_e}{l} = \lambda \frac{l}{4R} \frac{g^2}{2g} \quad (5.24)$$

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

Masalan, plunjerning diametri  $d$ , tirkishning qalinligidan juda katta bo'lsa ( $d >> c$ ), plunger bilan silindr orasidagi halqasimon tirkish uchun qo'llaniladi. Bu holda suyuqlik sarfini hisoblash uchun (5.19) dagi  $b$  o'rniga  $d_1$  ni qo'yish kerak. Ekstsentrik halqasimon tirkishlar uchun sarfini hisoblashda esa (5.19) dagi  $b$  o'rniga  $\pi \frac{d_1 + d_2}{2} = \pi(d_1 + c)$  ni qo'yish kerak; bu yerda  $e$  – plunger va silindr o'qlari orasidagi ekstsentriskitet. Agar tirkishning qalinligi plunger diametriga yaqin miqdorlarda o'lchanadigan bo'lsa, u holda halqasimon tarqishdag'i harakat uchun boshqacha formulalar chiqarish kerak bo'ladi.

Diametrleri  $d_1$  va  $d_2$ , uzunliklari  $l$  bo'lgan plunger va silindr orasidagi tirkishda (5.5-rasm) laminar harakat qilayotgan suyuqlik oqimini tekshiramiz. Radiusi  $r_1$  va  $r_2$  bo'lgan ikki silindr orasidagi suyuqlik muvozanatini ko'ramiz.



**5.5-rasm. Halqasimon tirkishda suyuqlikning laminar harakatiga doir chizma**

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

$$T_2 = \tau 2\pi r_1 l = \mu \frac{du}{dr} 2\pi r_1 l$$

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

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

Suyuqlikning tezligi  $r = r_1$  da nolga teng bo'ladi. Shuning uchun (5.25) tenglamaning chap tomonini  $O$  dan  $u$  gacha, o'ng tomonini  $r_1$  dan  $r$  gacha integrallab, ushbu munosabatni olamiz.

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

Silindrning sirtida ( $r = r_2$ ) ham tezlik nolga teng.

Shuning uchun

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

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 (5.26) ga qo'yamiz. Shunday qilib, tezlikning kesim bo'yicha taqsimlanishi uchun ushbu munosabatni olamiz.

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

$r_2 - r_1 = c$  ning miqdori  $r_1$  dan juda kichik bo'lganda bir qancha amallardan keyin (5.27) dan (5.17) ni keltirib chiqarish mumkin. Bu esa yuqorida aytilgan fikrlarni yana bir bor tasdiqlaydi. Halqasimon tirqishdan oqayotgan suyuqlikning maksimal tezligi 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:

$$Q = 2\pi \int_{r_1}^{r_2} ur dr = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} \pi (r_2^2 - r_1^2) \left[ r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right] \quad (5.28)$$

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

$$g = \frac{P_1 - P_2}{8\mu l} (r_2 + r_1^2) - \left( \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right). \quad (5.29)$$

Gidravlik yo'qotish esa quyidagicha hisoblanadi.

$$H_s = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{\frac{8\mu l \ln \frac{r_2}{r_1}}{(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1}} \frac{g}{g}}{(r_2^2 - r_1^2) \frac{g}{2}},$$

Gidravlik radius

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

Demak, Reynolds soni

$$Re = \frac{94R}{V} = \frac{92(r_2 - r_1)}{V}$$

Buni nazarda tutsak,

$$He = \frac{\frac{64(r_2^2 - r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1}}{(r_2^2 + r_1^2) \ln \frac{r_2}{r_1} - (r_2^2 - r_1^2)}}{2(r_2 - r_1) \frac{g^2}{2g}}$$

Avvalgi hollarda belgilashni kiritamiz.

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

U holda

$$H_s = \lambda \frac{l}{2(r_2 - r_1)} \frac{g^2}{2g} \quad (5.30)$$

Gidravlik nishablik uchun esa

$$J = \frac{H_s}{l} = \lambda \frac{1}{2(r_2 - r_1)} \frac{g^2}{2g} \quad (5.31)$$

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

## **5.5. Laminar oqimning maxsus turlari (o'zgaruvchan qovushqoqlik, obliteratsiya)**

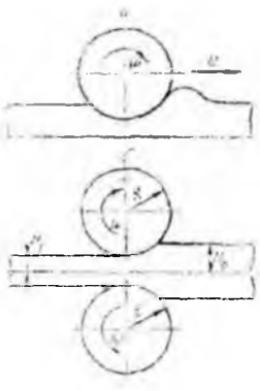
Mashinalar gidravlikasini yaratish rus olimlari A.A.Sablukov, V.A.Pusheshnikov, V.G. Shuxov va boshqalarning nomlari bilan bog'langan.

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 bergen 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 halqlari 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 ekstsentrifik joylashuvi qo'shimcha kuchlarni vujudga keltiradi va u valdag'i 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 ekstsentrifik 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 kuchlik, olingan natijalar podshniprovdagi moyning harakatini ifodalab bera olmaydi.

N.P. Petrov nazariyasi boshqa bir qancha masalarni yechishga yordam beradi. Bularga qovushoq suyuqlikning yupqa qavati bilan qoplangan sirt ustida silindirning dumalashi (5.6-rasm) masalasi kiradi. Bu masalaning yechilish usuli qizdirilgan metallni prokatlash ishlarida ham qo'llaniladi. Bu holda tajribalar shuni ko'rsatadiki, qizdirib prokatlanayotgan metall juda qovushoq suyuqlikka o'xshash xossaga ega bo'ladi. Bu hodisani birinchi bo'lib I.V. Meshsherskiy tekshiradi. Uning yechimlari S.M. Targning monografiyasida keltirilgan.



**5.6 -rasm. N.P. Petrov nazariyasini izohlashga oid rasm.**

Avvalgi paragrafda keltirilgan tekis va silindrik sirtlar orasidagi tirkishda 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 vaqtida ishqalanish kuchining ta'sirida qizib ketishi mumkin. Natijada ikki silindr orasidagi tirkishda oqayotgan suyuqlik ham qiziydi. Bunday hodisa sharikli podshipniklarda ham bo'ladi. Moylovchi suyuqlik qizishi bilan uning qovushqoqlik koefitsiyenti o'zgaradi. Biz qovushqoqlik koefitsiyentining temperaturaga bog'liqligini kinematik qovushqoqlik koefitsiyentiga 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, tirkishlarda suyuqlikning harakati qovushqoqlik koefitsiyentining o'zgaruvchanligiga bog'liqligi hisobga olib ko'rildi.

Qovushqoqlikning temperaturaga bog'liqligi suyuqlik tashqi muhit bilan issiqlik almashganda ishqalanish qarshiligining o'zgarishiga olib keladi. Agar tashqi muhit suyuqlikka qaraganda sovuqroq bo'lsa, uning tashqi muhitga issiqlik berishi natijasida suyuqlikning quvur devoriga yaqinroq qavatlarda qovushqoqlik ortadi. Natijada bu qavatlardagi harakatning sekinlanishi tezkor bo'ladi, bu esa tezlik gradiyentining kamayishiga olib keladi.

Tashqi muhit issiqroq bo'lsa, aksincha, suyuqlikning quvur devoriga yaqin qavatlari tashqaridan issiqlik olib, uning qovushqoqligi kamayadi. Natijada devor yonida tezlik gradiyenti ortadi. Shunday qilib, suyuqlik tashqi muhit bilan issiqlik almashgan hollarda uning qovushqoqligi quvur kesimi bo'yicha o'zgaruvchan bo'lib, tezlik taqsimoti ham o'zgarmas temperaturadagidan boshqacha bo'ladi. Xususan, qizdirishli oqim vaqtida yadrodag'i 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 oshsa, qarshilik kamayadi. Bu yuqorida aytilganidek, quvur devori atrofida qovushqoqlik o'rtacha qovishqoqlikka qaraganda kam bo'lishi natijasida yuz beradi. Bu holda ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti uchun, amaliy hisoblashlarda, taqrifiy formulalardan foydalaniлади:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \sqrt{\frac{V_g}{\nu_e}},$$

bu yerda  $Re$  – o'rtacha qovushqoqlik uchun hisoblangan Reynolds soni  $v_g$  - quvur devori yonidagi suyuqlikning qovushqoqligi,  $\nu_e$  – suyuqlikning o'rtacha qovushqoqligi. Aniqroq hisoblashlar uchun akad. M.A. Mixeyevning kichik Reynolds sonlari bilan hisoblashga chiqargan formulasidan foydalanish mumkin.

Ikki sirt orasidagi tor tirkishda suyuqlik harakat qilayotgan vaqtida qattiq jism va suyuqlik chegarasida molekulalararo o'zaro ta'sir kuchi natijasida, qutblangan suyuqlik molekulalarning adsorbsiyalanish hodisasi vujudga keladi. Natijada devorlar sirtida, siljituvcchi kuchga qarshi ma'lum qattiqlik va mustahkamlik xususiyatiga ega bo'lgan, harakatsiz suyuqlik qavati hosil bo'ladi. Bu esa tirkish harakat kesimining kichrayishiga sabab bo'ladi. Tirkishning bunday kichrayish hodisasi obliteratsiya deyiladi.

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

Obliteratsiya intensivligi suyuqlikning turiga, tirkishdagi 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) tirkishlarida uning ko'ndalang kesimining anchagini qismini egallab oladi. Natijada tirkishning qarshiligi ortadi va tirkishdagi suyuqlikning sarfi kamayadi.

Bu hodisa suyuqlikning ifloslanganligiga ham bog'liq bo'lib, uni ifloslovchi modda zarrachalari tirkish o'lchamlariga yaqin bo'lsa, obliteratsiya tezroq bo'sladi. 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 tirkishdan qisqa vaqt oqishi bilan tirkish butunlay bekilib qoladi.

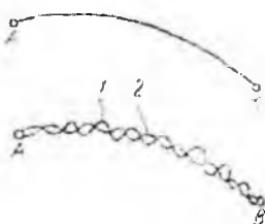
Odatda, juda kichik tirkishlarda (o'lchami 6-8 mm) obliteratsiya hodisasi tirkishni butunlay berkitib qo'yishi mumkin.

#### **V 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.

## VI BOB. SUYUQLIKLARNING TURBULENT HARAKATI

Suyuqliklarning turbulent harakati tabiatda va texnikada keng tarqalgan bo‘lib, gidravlik hodisalar ichida eng murakkabлari qatoriga kiradi. Bu harakat juda ko‘p tekshirilgan bo‘lishiga qaramay hozirgacha harakatning turbulent turi uchun umumlashgan nazariya yaratilgan emas. Shuning uchun ham turbulent oqimlarini hisoblashda yarimempirik nazariyalardan foydalanish bilan bir qatorda, ko‘p hollarda tajriba natijalari va empirik formulalardan foydalanishga to‘g‘ri keladi.



*6.1-rasm. Turbulent harakatining xususiyati.*

### 6.1. Suyuqlik turbulent harakatining xususiyatlari

Turbulent harakatda suyuqlikning har bir zarrachasi juda ham murakkab egri chiziqli trayektoriya bo‘yicha harakat qiladi va har qanday ikki zarrachaning trayektoriyalari bir-biriga o‘xshamaydi. Buni ko‘z oldimizga keltirish uchun biror *A* nuqtadan ketma-ket o‘tayotgan zarrachalarning *B* nuqtaga (6.1-rasm) qanday trayektoriya bo‘yicha yetib kelishini ko‘z oldimizga keltiraylik. Laminar harakat vaqtida *A* nuqtadan chiqqan *I* zarracha biror silliq egri 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 murrakkab egri-bugri chiziq bo‘yicha *B* nuqtaga keladi. Ikkinci zarracha esa birinchi zarrachaning trayektoriyasidan 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 trayektoriyasiga 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 umumiyligini aniqlash mumkin. Hatto bu umumiyligini faqatgina sifat o'xhashligi ko'rinishda emas, balki miqdor o'xhashligi ko'rinishida ham ifodalash mumkin. Ana shu o'xhashliklar asosida turbulent harakatning qonuniyatlarini yuzaga keltirib chiqariladi.

## 6.2. Tezlik va bosim pulsatsiyalari

Turbulent harakat qilayotgan suyuqlik biror nuqtadagi tezligining koordinata o'qlaridagi proektsiyalarini tekshiramiz. Misol uchun tezlikning oqim yo'nalishidagi proyektsiyasi  $u_x$  bo'lsin.  $U$  holda  $u_x$  ning miqdori vaqt davomida ortib va kamayib boradi. Bu o'zgarishni grafik ko'rinishda ifodallasak, u 6.2-rasmida tasvirlangan grafikka o'xshaydi va tezlik  $u_x$  proyektsiyasining pulsatsiyasi deb ataladi. Tezlikning boshqa o'qlaridagi proyektsiyalari ( $u_y, u_z$ ) uchun ham xuddi shunday pulsatsiya grafiklari tuzish mumkin. Shunday qilib, tezlik pulsatsiyasi uning biror yo'nalishidagi proyektsiyasining vaqt davomida ortib va kamayib borish hodisasidan iborat. Uni tajribada tezlikni o'chovchi asboblar yordamida (masalan, Pito trubkasidagi suyuqlik sathining o'zgarishini) kuzatish mumkin. Oqayotgan suvda suv otlari novdalarining to'xtovsiz tebranma harakat qilishi ham bizga pulsatsiya hodisasini ko'rsatadi. Tezlikning oniy miqdori doimo o'zgarib turgani uchun gidrodinamikada tenglashtirilgan tezlik tushunchasi kiritiladi va u ancha uzoq vaqt ichida tezlik qabul qilgan qiymatlarning o'rta chasi bo'ladi.

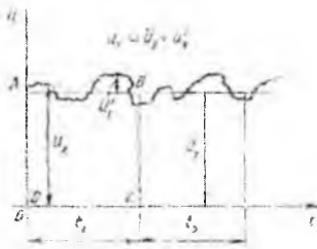
Tenglashtirilgan tezlik tushunchasini ko'z oldimizga keltirish uchun 6.2-rasmdan foydalananamiz. Grafikda tezlikning o'zgarishni to'liq xarakterlash uchun yetarli bo'lgan  $t_1$  vaqt intervalini olamiz va grafikda vaqt o'qiga parallel qilib, shunday  $AB$  chiziq

o'tkazamizki, hosil bo'lagi  $ABCD$  to'rtburchakning yuzi  $\omega_{ABCD}$  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 uchinchini 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.



6.2-rasm. Tezlik pulsatsiyasiga doir chizma.

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.

$$\bar{u} = \frac{d\vartheta}{\Delta t d\omega} \quad (6.1)$$

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

$$u_x = \bar{u}_x + u'_x \quad (6.2)$$

Oniy va tenglashtirilgan tezliklar orasidagi farqlar manfiy yoki musbat bo‘lishi mumkin va tezlik pulsatsiyasi deb ataladi. Ko‘rinib turibdiki, tezlik pulsatsiyalarining yetarli katta  $t_1$  intervaldagи 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 tenglashtirilgan tezlikning yo‘nalishi doimo oqim yo‘nalishiga mos kelar ekan. Shuning uchun turbulent harakat uchun Bernuli tenglamasini yozar ekanmiz, bu tenglamadagi o‘rtacha tezlik tenglashtirilgan tezlikning o‘rtacha qiymatini bildiradi. Tezlik miqdori doimo o‘zgarib turgani sababli bosim ham o‘zgarib turadi yoki boshqacha aytganda bosim ham pulsatsiyaga ega bo‘ladi. Xuddi tezlikka o‘xshab, bosim  $p$  uchun ham tenglashtirilgan bosim tushunchasini kiritish mumkin.

### 6.3. Tenglashtirilgan tengsizliklarning kesim bo‘yicha taqsimlanishi

O. Reynolds (1895) va J. Bussenesk (1897) turbulent 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 turbulent oqim uchun Reynolds modeli bo‘yicha hisoblash ishlarida  $\bar{u}$  va  $p$  lardan foydalananamiz. Turbulent oqimiga Bernulli tenglamasini qo‘llaganimizda tezlik va bosimlar deganda tenglashtirilgan tezlik va bosimlarni tushunamiz, yozuvda esa soddalashtirish uchun chiziqlarni tushirib goldiramiz. L. Prandtlning va boshqa olimlarning tekshirishlari shuni ko‘rsatdiki,

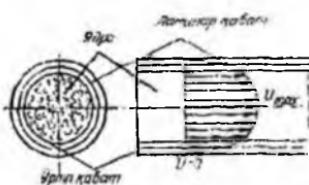
turbulent harakat vaqtida oqimning asosiy qismi uning yadroasi, ya'ni markaziy qismini tashkil qiladi. Yadroda suyuqlik turbulent harakat qilib, uning tezliklari yadro kesimi bo'yicha deyarli bir xil bo'ladi va markazdan quvur devoriga yaqinlashgan sari bir oz kamayib boradi. Devor yonidagi suyuqlik zarrachalari esa (devorning mavjudligi oqimga ko'ndalang harakatga yo'l qo'ymagani uchun) devor bo'yicha harakat qilib, uning trayektoriyasi sezilsiz 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 (6.3-rasm), laminar haratdagisi tezlikning taqsimlanishidan tamomila farq qiladi va u yadroda deyarli o'zgarmagan holda quvur devori yaqinida juda tez kamayadi va devor ustida nolga teng bo'lib qoladi, ya'ni tenglashtirilgan tezlik asosan laminar va o'rtacha qavatlarda o'zgaradi. Buni ko'z oldimizga keltirish uchun 6.3-rasmda silindrik qurvurda turbulent oqim uchun (tutash chiziq) va laminar oqim uchun (punktir chiziq) tezlik chizig'i keltirilgan.

Hozirgi zamonda hidrolikasida tezlikning kesim bo'yicha taqsimlanish qonuni nazariya va tajribalar natijasida quyidagicha ifodalanadi:

$$n = u_{\max} - \frac{u_*}{\chi} \ln \frac{R}{R-r} \quad (6.3.)$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$



**6.3-rasm. Turbulent harakatda laminar qavat va yadro.**

bu yerda  $\tau_0$ -quvur devoridagi urinma zo'riqish;  $\chi$ - 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'chov birligi tezlik o'chov birligi bilan bir xil bo'lib, u odatda dinamik tezlik deyiladi.

Silliq quvurlar uchun tezlik formulasi ushbu ko'rinishda yoziladi.

$$u = u_* \left( 5,75 \lg \frac{ru_*}{\nu} + 5,5 \right). \quad (6.4.)$$

G'adir-budir quvurlar uchun esa

$$u = u_* \left( 5,85 \lg \frac{r}{\Delta} + 8,5 \right). \quad (6.5)$$

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

Amalda tezlik taqsimlanishini darajali qonunlar bilan ifodalovchi formulalari qulaydir.

Karman nazariy tekshirishlar natijasida silliq quvurlar uchun bu qonunni quyidagi ko'rinishda yozishni taklif qilgan.

$$u = u_{\text{max}} \left( 1 - \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (6.6)$$



*6.4-rasm. Turbulent va laminar harakatda tezlik epyuralari.*

bu yerda  $m$  – tajribada aniqlanadigan koeffitsiyent bo'lib, u  $Re$  soniga bog'liqidir. Xuddi laminar oqimdag'i 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:

$$L_{\text{tur},n} = 0,639 \text{Re}^{0,25} D \quad (6.7.)$$

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.

#### 6.4. Turbulent harakatda urinma zo'riqish

Turbulent harakatning Reynolds modelida biz pulsatsiyalarni hisobga olmagan holda tenglashtirilgan oqim olamiz. Lekin tenglashtirilgan tezlik bo'yicha hisoblangan oqimning energiyasi oniy tezlik bo'yicha hisoblangan oqimning energiyasidan kam bo'ladi. Buni quyidagicha ko'rsatish mumkin. Oniy va tenglashtirilgan tezliklar kvadratini tekshiramiz.

$$u_x^2 = (\bar{u}_x + u_{x,s})^2$$

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

$$\bar{u}_x^2 = \bar{u}_x^2 + 2\bar{u}_x \bar{u}_{x,s} + \bar{u}_{x,s}^2.$$

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

$$\bar{u}_x^2 = \bar{u}_x^2 + \bar{u}_{x,s}^2.$$

Bu tenglikdan ko'rindiki, keltirilgan kinetik energiya uchun quyidagi tengsizlik mavjud:

$$\frac{\bar{u}_x^2}{2g} > \frac{\bar{u}_{x,s}^2}{2g}.$$

Bu qo'shimcha energiya turbulent harakat qilayotgan suyuqlik zarralarning oqimdagи bir qavatdan ikkinchi qavatga tartibsiz o'tib turishi uchun sarflanadi. Shunday qilib, qavatlar orasida energiya almashinuvni 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:

$$\tau_T = \mu_T \frac{du}{dn}, \quad (6.8.)$$

bu yerda  $\mu_T$  - turbulent dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti yoki turbulent almasuv koeffitsiyenti deb ataladi. L.Prantl koeffitsyentini tezlik gradiyentiga proportional deb qabul qilingan bo'lib,  $u$  shunday ifodalanadi:

$$\mu_T = \rho l \frac{du}{dn} \quad (6.9.)$$

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

$$l = xy, \quad (6.10)$$

bu yerda  $y$  - harakatlanayotgan zarrachaning idish devoridan boshlab hisoblangan koordinatasi;  $x$  - Prandtl universal doimiysi. Nikuradze tajribalarida aniqlanishicha silindrik quvur uchun  $x \approx 0.4$ . (177) dan ko'rinib turibdiki, dinamik qovushqoqlik turbulent koeffitsiyenti  $\mu_T$  tezlik gradiyentiga proportional bo'lib, molekulyar qovushqoqlik koeffisenti  $\mu$  dan harakatning xususiyatiga bog'liqligi bilan farq qiladi. Bu koeffitsiyentdan, (1.13) ni qiyos qilib, turbulent kinematik qovushqoqlik koeffitsiyentini yozamiz:

$$V_T = \frac{\mu_T}{\rho} = l^2 \frac{du}{dn} \quad (6.11)$$

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

$$\tau = \tau_s + \tau_T = \mu \frac{du}{dn} + \mu_T \frac{du}{dn} = \mu \frac{du}{dn} + \rho l^2 \left( \frac{du}{dn} \right)^2 \quad (6.12)$$

Laminar harakat vaqtida bu yig'indining ikkinchi hadi nolga teng bo'lib, faqat laminar qovushqoqlik urinma zo'riqishi  $\tau_l$  qoladi. Reynolds sonining katta qiymatlarida turbulent harakat uchun  $\tau_l$ ,  $\tau_l$  ga qaraganda juda katta bo'lib, (6.12) dagi yig'indining birinchi hadini tashlab yuborish mumkin (ya'ni  $\tau \approx \tau_T$ ). Bu holda  $\tau$  tezlik gradiyentining ikkinchi darajasiga proportional bo'ladi. Silindrik quvurda tekis harakat qilayotgan suyuqlikning turbulent tartibi uchun (5.1) dagidek muvozanat tenglamasidan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$\pi r^2 (p_1 - p_2) = 2\pi l \tau. \quad (6.13)$$

Reynolds sonining katta qiymatlarida  $\tau_l >> \tau$  ekanligini hisobga olib, (6.13) da laminar urinma zo'riqishini kichik miqdor sifatida tashlab yuboramiz. Natijada (6.12) dan foydalaniib, ushbu tenglamani chiqaramiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{2l} = \frac{\tau_T}{r}. \quad (6.14)$$

Lekin turbulent urinma zo'riqish uchun (6.8) formuladan foydalanib, quyidagi munosabatni yozamiz.

$$\sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \chi r \frac{du}{dr}. \quad (6.15)$$

Biroq quvur devori yaqinda o'zgaruvchan urinma zo'riqish ( $\tau$ ) ni o'zgarmas urinma zo'riqish  $\tau_0$  ko'rinishida ifodalash mumkinligini hisobga olib, (6.15) dan ushbu tenglikni keltirib chiqaramiz:

$$du = \frac{1}{\chi} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \frac{dr}{r}. \quad (6.16)$$

Tekis harakat uchun pezometrik qiyalik  $I = \frac{p_1 - p_2}{l}$  ekanligini hisobga olsak, (6.14) va (6.16) dan

$$\tau_0 = \rho R \frac{l}{2} \quad (6.17)$$

ekanligiga ishonch hosil qilamiz.  $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$  ni  $u$  bilan belgilaymiz va (6.14) ning chap tomonini  $u_{\max}$  dan  $u$  gacha, o'ng tomonini  $R-r$  dan  $r$  gacha integrallab, tezlik uchun quyidagi tenglamani olamiz:

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

bu tenglik avvalgi paragrafda keltirilgan turbulent tartibli harakat tenglamasi (6.3) ga osonlikcha keltiriladi.

### **Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:**

**Masala.** Moy (IC-30) nasos yordamida quvur orqali gidrosilindrga uzatiladi. Agar quvur diametri  $d = 24$  mm, moyning harorati  $t = 20^\circ\text{C}$  bo'lib, nasosning sarfi  $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$  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

$$g = \frac{4Q}{\pi d^3} = \frac{4 \cdot 20}{3.14 \cdot 2.4^3} = 4.42 \text{ sm/s}$$

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

$$v = 150 \text{ mm}^2/\text{s} = 1,5 \text{ sm}^2/\text{s}$$

Reynolds soni:

$$Re = \frac{V \cdot d}{v} = \frac{4,42 \cdot 2,4 \cdot 10^3}{1,5} = 700;$$

$$Re_{kr} = 2000;$$

$Re < Re_{kr}$  demak suyuqlik harakat rejimi laminar.

Laminar harakatdan turbulent harakatga o'tish uchun  $Re > Re_{kr}$ .

$Re_{kr} = 2000$ , u holda:

$$Re_{kr} = \frac{V \cdot d}{v}, \quad v = 0,53 \text{ sm}^2/\text{s} = 53 \text{ mm}^2/\text{s}.$$

$v$  va  $t^\circ$  ning bog'liqlik jadvalidan industrial moy uchun (IS-30)  $v = 53 \text{ mm}^2/\text{s}$  ga mos keladigan  $t^\circ$  harorat miqdori  $t = 50^\circ\text{C}$ .

Demak, suyuqlik harorati yuqoridagi miqdorga yetganda suyuqlik laminar harakat rejimidan turbulent harakat rejimiga o'ta boshlaydi.

### Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Uzunligi  $l=4$  m bo'lgan quvurdan harorati  $10^\circ\text{C}$  ( $v = 0,4 \text{ sm}^2/\text{s}$ ) 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  $d = 50$  mm li quvur orqali sarfi  $Q = 0,5$  l/s bo‘lgan benzin oqib kelmoqda. Agar benzin harorati  $6^\circ\text{C}$  dan  $40^\circ\text{C}$  gacha o‘zgarsa suyuqlik harakat rejimi qanday o‘zgaradi?

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

4. Laboratoriya da diametri  $d = 25$  mm bo‘lgan quvurda tajribalar o‘tkazib quyidagi qiymatlar o‘lchandi: a) suvning harorati  $t = 10^\circ\text{C}$ , tezligi  $V = 20$  sm/s; b) benzin harorati  $20^\circ\text{C}$ , tezligi  $V = 25$  sm/s; v) neft harorati  $18^\circ\text{C}$ , tezligi  $V = 18$  sm/s. Suyuqliklarning harakat rejimlarini va sarfini aniqlang.

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

## 6.5. 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.

**Naporing 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) suyuqliknı uzatish uchun qancha energiya kerak ekanligini aniqlashga imkon beradi. Quvurlarda bosimning kamayishi ishqalanish qarshiliği va mahalliy qarshilikka bog‘liq.

**Ishqalanish qarshiliği** 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 aytildande, turbulent tartib vaqtida odatdagи qovushqoqlikka qo‘srimcha ravishda, turbulent qovishqoqlikka bog‘liq bo‘lgan va suyuqlik harakati uchun qo‘srimcha 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 (3.57) formula bo'yicha ikki yig'indidan tashkil topgan bo'ladi:

$$H_n = H_I + H_M \quad (6.18)$$

bu yerda  $H_I$  - ishqalanish qarshiligi yoki uzunlik bo'yicha yo'qotish,  $H_M$  - mahalliy qarshilik. Laminar tartib vaqtida ishqalanish qarshiligi yuqorida keltirilgan (5.9) va (5.12) formulalardagi kabi nazariy usul bilan aniqlanishi mumkin:

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

Bu ifodadagi  $\lambda = \frac{64}{Re}$  ni ishqalanish qarshiligi koefitsiyenti deb atagan edik. Ko'pincha uni soddaroq qilib gidravlik ishqalanish koefitsiyenti deyiladi. Silindrik quvurlarda bu formula Reynolds soni 2320 dan kichik bo'lган laminar harakatlar uchun tajribada olingan natijalarda juda yaqin keladi. Turbulent harakat uchun ishqalanish qarshiligi tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Uni nazariy aniqlab bo'lmaydi.

## 6.6. Darsi formulasi va gidravlik ishqalanish koefitsiyenti (Darsi koefitsiyenti)

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

$$H_I = \zeta \frac{g^2}{2g} \quad (6.19)$$

Bu formuladagi proportionallik koefitsiyenti 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 (6.17) munosabat bilan taqqoslab ko'rsak:

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

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

$$H_e = \lambda \frac{l}{4R} \frac{g^2}{2g} \quad (6.20)$$

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

$$H_e = \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} \quad (6.21)$$

(6.21) formula *Darsi - Veysbax formulasi* yoki qisqacha Darsi formulasi deyiladi. Bu formulaga kiruvchi koeffitsiyent  $\lambda$  gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti yoki Darsi koeffisenti deyiladi.

Bundan ko'rindaniki, (6.19) dagi koeffisent Darsi koeffitsiyentiga bog'liq bo'lib, ya'ni

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

u quvurning uzunligiga to'g'ri proporsional, diametriga teskari proporsional ekan. Suyuqlikning quvurdagi laminar harakati uchun yuqorida nazariy formula (5.11) olingan edi. Turbulent harakat vaqtida esa bunday munosabatni nazariy usul bilan chiqarib bo'limgani uchun, uni emperik yoki yarim emperik usullarda aniqlanadi.

Hozirgi zamon gidravlikasida Darsi koeffitsiyenti  $\lambda$  umumiy Holda Reynolds soniga va quvur devorlarining g'adir-budirligiga bog'liq deb hisoblanadi.  $\lambda$  ni Hisoblash uchun juda ko'p empirik formulalar mavjud bo'lib, ular ichida eng mashhurlari quyidagilar.

Blazius formulasi 1913 yili juda ko'p mualliflarning tajribalarini analiz qilish natijasida olingan.

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (6.23)$$

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

$$\lambda = \frac{1}{(1,81 \lg Re - 1,5)^2} \quad (6.24)$$

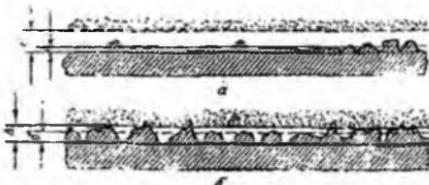
1932 yili L. Prandtl quyidagi formulani keltirib chiqardi:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(Re \sqrt{\lambda} - 0,8). \quad (6.25)$$

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

## 6.6. Quvur devorining g'adir-budirligi. Absolyut va nisbiy g'adir-budirlilik

Quvurlar, kanallar va novlarning devorlari ma'lum darajada g'adir-budirlikka ega bo'ladi. Bu g'adir-budirlilik quvurlarning qanday materialdan 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-budirlilik deyiladi va  $\Delta$  bilan belgilanadi (6.5-rasm). Agar absalyut g'adir-budirlilik laminar chegaraviy qavatning qalinligi  $\sigma$  dan kichik bo'lsa, bu quvur gidravlik silliq quvur deyiladi. (6.5-rasm, a).



**6.5 rasm. Gidravlik silliq va g'adir-budir quvurlarni tushintirishga doir chizma.**

Bordiyu,  $\Delta$  laminar qavat qalinligi  $\delta$  dan katta bo'lsa, bu quvurlar gidravlik g'adir-budir quvurlar deyiladi (6.5-rasm, b).

Birinchi holda ( $\Delta > \delta$ ) quvur sirtidagi do'ngliklar laminar qavat ichida qoladi va gidravlik qarshilikka sezilarli ta'sir qilmaydi. Ikkinci holda ( $\Delta < \delta$ ) esa do'ngliklar laminar qavatdan chiqib qoladi va quvur devori atrofidagi oqim xususiyatiga ta'sir qilib, gidravlik qarshilikni oshiradi.

**5-jadval.**

**Quvurlar uchun absolyut g'adir-budirlilik qiymatlari.**

Quvurlar	$\Delta, \text{mm}$
----------	---------------------

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 ifoslangan vodoprovod quvurlari yaxshi holatdagi beton quvurlar	0,3-0,5
Ifoslangan va ozroq zanglagan vodoprovod quvurlar	0,5-2,0
Yangi cho'yan quvurlar	0,3-0,5
Ko'p foydalilanigan cho'yan quvurlar	1,0-3,0

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 absalyut g'adir-budirlik uchun qanday qiymat olinsa, ekvivalent g'adir-budirlik uchun ham shunday qiymat olinadigan qilib tanlab olinadi.

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'rildi. Shuning uchun absolyut g'adir-budirlik quvur devorining oqim harakatiga ta'sirini to'liq ifodalay olmaydi. Shuningdek, quvur g'adir-budirligi uning diametri katta yoki kichik bo'lishiga qarab, suyuqlik oqimiga turlicha ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Bularni hisobga olish maqsadida o'xshashlik qonunlarini bajaradigan va oqim gidravlikasiga g'adir-budirlikning ta'sirini to'laroq ifodalaydigan nisbiy g'adir-budirlik tushunchasi kiritiladi va u absolyut g'adir-budirlikning quvur diametriga nisbatiga teng deb olinadi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{D} \quad (6.26)$$

Nisbiy g'adir-budirlikdan foydalinish quvurlardagi ishqalanish qarshiligidini hisoblashda ancha qulaylik tug'diradi.

## 6.7. Nikuradze va Murin grafiklari

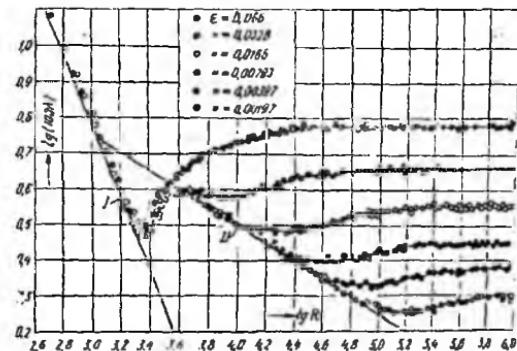
Ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti  $\lambda$  ning Reynolds soniga bog'liqligini juda ko'p olimlar (Bazius, Prandtl, Karman, Konakov va brshqalar) tekshirib, empirik formulalar chiqardilar. Bu koeffitsiyentning xususiyatlari haqida eng to'liq ma'lumot

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 qiymatlarda 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 6.6-rasmda keltirilgan egri chiziqlarni oladi. Bu grafikdan ko'rinish turibdiki,  $\lambda$  va  $Re$  bog'lanishi sohasida uchta zona mavjud.

Birinchi zona *laminar tartib zonasasi* bo'lib, tajriba nuqtalari (5.11) formula asosida chizilgan 1 to'g'ri chiziq ustiga tushadi va g'adir-budirlikning turli qiymatlari uchun barcha tajriba nuqtalari shu to'g'ri chiziqda yotadi. Bu natijada laminar zonada ishqalanish koeffitsiyenti g'adir-budirlikka bog'liq emasligi ko'rindi. Bu zona uchun quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

- a) Reynolds soni  $Re$  nisbatan kichik bo'lib, 1000 dan 2300 gacha o'zgaradi;
- b) bosimning pasayishi  $H_g$  g'adir-budirlikka bog'liq emas;
- v)  $H_e$  tezlikka to'g'ri proporsional bo'lib, Puazeyl formulasi tajribalarini yaxshi ifodalaydi;
- g)  $\lambda$  ni (5.11) formula bilan hisoblash mumkin.

Ikkinchi zona turbulent tartibga to'g'ri keladi va tajriba nuqtalari Blazius formulasi (6.23) bo'yicha chizilgan 2 to'g'ri chiziq ustiga tushadi va g'adir-budirlikka bog'liq emas.



6.6-rasm. Nikuradze grafigi.

Bu zonada turbulent tartib qat'iy bo'lmaganiga uchun uni noqat'iy yoki o'tkinchi zona deyiladi (ya'ni uning ichida turbulent tartib laminar tartibga va aksincha, laminar tartib turbulentga o'tish hodisasi yuz beradi).

Bu zonada

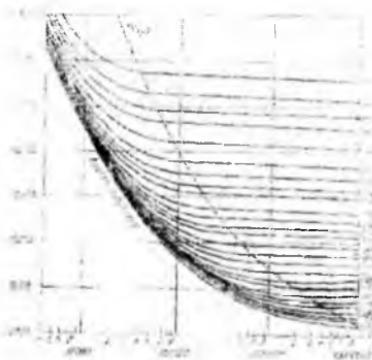
- Reynolds soni 2300 dan taxminan 10000 gacha o'zgaradi;
- suyuqliklar quvurda harakat qilganda ayrim qismlarda turbulent tartib paydo bo'ladi va rivojlanib borib, yo'q bo'ladi va yana paydo bo'ladi;
- $\lambda$  quvurning g'adir-budirligiga bog'liq emas.

Uchinchi zona – turbulent tartibga tegishli bo'lib, barqarorlashgan turbulentlik mavjud bo'ladi. Bu zonada ishqalanish koeffitsiyenti Reynolds soni  $Re$  ga ham, g'adir-budirlilik  $\epsilon$  ga ham bog'liqidir.

1938 y. A.P. Zegjda Nikuradze tomonidan kashf qilingan qonuniyatlar kanallar uchun ham to'g'ri ekanligini ko'rsatadi. Ko'rinish turibdiki, Nikuradzening tajribalari sun'iy bir tekis g'adir-budirlilikka ega bo'lgan quvurlar uchun o'tkazilgan.

Shuning uchun uning natijalari sanoatda va texnikada qo'llaniladigan tabiy g'adir-budir quvurlar uchun to'g'rimi, bu quvurlar uchun g'adir-budirlilikning qiymati qanday miqdorga teng ekanligi aniqlanmagan edi. Bu masalani hal qilishga Kolbruk, I.A.Isayev, G.A.Murin, F.A.Shevlevlarning 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-rasmida keltirilgan bo'lib,  $\lambda$  ning Reynolds soniga bog'liqligi turli g'adir-budirlilikka ega bo'lgan, po'lat quvurlar uchun grafik ko'rinishida ifodalangan.



6.7-rasm. Murin grafigi.

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 koefisiyeti  $\lambda$  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  $\lambda$  Reynolds soni ortib borishi bilan ortib o'tkinchi zonada barqororlashgan turbulentlik zonasiga qaraganda kam bo'lsa  $\lambda$  tabiiy g'adir-budir quvurlarda  $Re$  ning ortishi bilan kamayib boradi.

## 6.8. 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:

$$H_e = BV^m \quad (6.27)$$

Laminar harakat uchun chiziqli qarshilik qonuni o'rini bo'lib, (6.27) 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  $He = B_2 V^{1,75}$ ,

g'adir-budir quvurlar uchun esa  $m = 2$  va  $He = B_3 V^2$  (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  $\lambda$  II to'g'ri chiziq bilan ifodalanadi,  $Re > 100000$  da egri chiziq bilan ifodalanib, II to'g'ri chiziqning davomi sifatida ko'rindi. Murin grafigida bu egri chiziq eng pastki chiziqqa to'g'ri keladi.

Birinchi sohada:

a)  $Re$  ning 100000 gacha qiymatlarida tezlik  $\vartheta$  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'ngliklir laminar qavat ichida qoladi);

v)  $H_e$ , shuningdek,  $\lambda$  Blazius yoki Prandtl formulasidagi kabi faqat Reynolds soniga bog'liq, ya'ni  $\lambda = f(Re)$ .

Ikkinci soha g'adir-budir quvurlarning gidravlik qarshiliklari uchun kvadratgacha qarshilik sohasi deyiladi. II to'g'ri chiziqdan ajralib chiqa 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  $\lambda$  Reynolds soniga ham nisbiy g'adir-budirlikka ham bog'liq bo'ladi.

$$\lambda = f(Re, \varepsilon) \quad (6.28)$$

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  $lg Re$  o'qiga parallel joylashadi.

Bu sohada:

- a) bosimning pasayishi tezlik kvadratiga proporsional;
- b)  $\lambda$  koeffitsiyent Reynolds soniga bog'liq emas;
- v)  $H_e$  va faqat nisbiy g'adir-budirlikka bog'liq.

## 6.10. Darsi koefitsiyentini aniqlash uchun formulalar va ularning qo'llanish sohalari

Darsi koefitsiyenti  $\lambda$  ning Reynolds  $Re$  sonining ortishiga qarab qanday o'zgarib borishini yuqorida, Nikuradze va Murin grafiklari asosida ko'rib chiqdik. Ko'rib o'tilgan sohalarda  $\lambda$  ning o'zgarish qonunini emperik formulalar bilan ifodalashga juda ko'p mualliflarning ishlari bag'ishlangan. Misol uchun silliq quvurlar sohasida Blazius (6.23), P.K.Konakov (6.24) va L. Prandtl (6.25) formulalari keltirilgan va ularning qo'llanish sohalari haqida to'xtalib o'tgan edik. 1938 yili Kolburk o'zining va boshqa mualliflarning tajribalari asosida texnik quvurlarni hisoblash uchun turbulent tartibning barcha zonalariga umumiy bo'lgan formulani taklif qiladi.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{2,5}{Re} \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,7} \right) \quad (6.29)$$

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

$$\lambda = \frac{0,25}{\left( \lg \frac{\varepsilon}{3,7} \right)^2} \quad (6.30)$$

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

$$\lambda = \frac{1}{(1,74 - 2 \lg c)^2} \quad (6.31)$$

Turbulent tartibning barcha sohalarida o'z ichiga oluvchi va hisoblash ishlarida (6.29) ga ko'ra qulayroq formulani A.D. Altshul tajribalariga asoslanib,  $\lambda$  ning keng sohasi uchun o'rinali formula taklif qildi.

$$\lambda = 0,11 \left( \varepsilon + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (6.32)$$

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

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

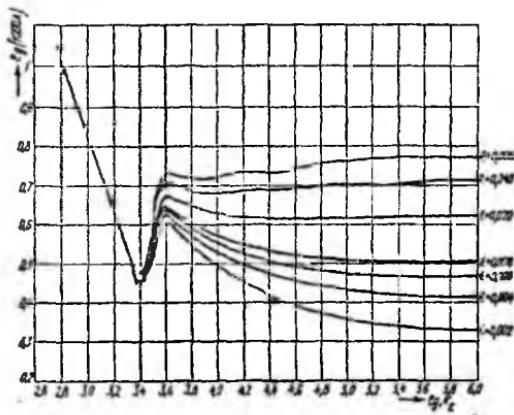
$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = \frac{0,3164}{R_l^{0,25}}.$$

2)  $\frac{10}{\varepsilon} < \frac{500}{\varepsilon}$  bo'lganda,  $\lambda$  ga  $Re$  ham,  $\varepsilon$  ham ta'sir ko'rsatadi va kvadratgacha qarshilik sohasiga to'g'ri keladi. Bu holda (6.32) soddalashmaydi.

3)  $Re > \frac{500}{\varepsilon}$  bo'lganda, esa kvadratik qarshilik sohasi bo'lib, (6.52) Shifrson formulasi deb ataluvchi quyidagi formulaga aylanadi:

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

Bu formula bo'yicha hisoblangan  $\lambda$  ning qiymatlari uning Nikuradze formulasi bo'yicha hisoblangan qiymatlariga yaqin keladi.



6.8-rasm.  $\lambda$  ning (6.34) formula bo'yicha hisoblangan grafigi.

Prof. Q.Sh. Latipov tomonidan olingan quyidagi formula Nikuradze grafigini to'liq ifodalaydi (1.60-rasm).

$$\lambda = \frac{8}{Re} \frac{J_0(x)}{I_2(x)}, 0 \leq Re \leq 10^6, \quad (6.34)$$

bu yerda  $I_0, I_2$  - mavhum argumentli Bessel funktsiyalari

$$x^2 = 0,0025 \frac{1+bRe}{1+aRe} \left[ 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-y_0)^2}{2x^2}} \right]$$

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

$$y = \left( \frac{Re}{a_n} \right)^n; y_0 = \left( \frac{Re_p}{a_n} \right)^n;$$

$$a_n = 3500; n = 3$$

## 6.11. Nosilindrik quvurlardagi harakatlar

Nosilindrik quvurlarda suyuqlik harakat qilgandagidek hollar uchun ham bosimning kamayishi Darsi formulasi bo'yicha hisoblanadi. Lekin, bu holda hisoblash quvur diametri D bo'yicha emas, balki gidravlik radius bo'yicha hisoblanadi. Bu holda Darsi formulasi (6.20) ko'rinishida yoziladi.

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

Nosilindirik quvurlarda harakat tartibi ham gidravlik radius orqali ifodalangan Reynolds soni

$$Re = \frac{\rho v R}{\mu}$$

yoki aytilgan quvurlar uchun qabul qilingan Reynolds soni

$$Re = \frac{Re}{4} = \frac{\rho R}{\mu}$$

bo'yicha hisoblanadi. Bu holda yangi turdag'i Reynolds sonining kritik qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$Re_{kr} = \frac{Re_{kr}}{4} = 575$$

Bu holda, laminar harakat uchun qarshilik koefitsiyenti yangi Reynolds soniga mos ravishda o'zgaradi.

Nosilindirik quvurlarga misol sifatida quyidagilarni ko'rsatish mumkin.

### 1) halqasimon quvur.

a) harakat kesim

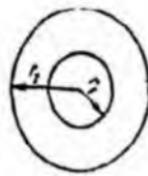
$$\omega = \pi(r_2^2 - r_1^2);$$

b) ho'llangan perimetr

$$\chi = 2\pi(r_2 + r_1);$$

v) gidravlik radius

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



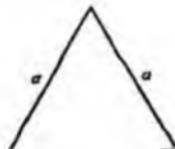
6.9-rasm. Halqasimon quvurning kesimi

### 2) teng tomonli uchburchak quvur

a) harakat kesimi

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

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

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

v) gidravlik radius

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



b

### 6.8-rasm. To‘g‘ri to‘rtburchak quvurning kesimi

Nosilindrik quvurda turbulent harakat qilayotgan suyuqlik uchun Darsi koeffitsiyenti yuqorida keltirilgan formulalar bo‘yicha hisoblanib, Reynolds soni Re o‘rniga unga teng bo‘lgan  $4R$ ‘e miqdor qo‘yiladi. Nisbiy g‘adir-budirlilik esa  $\varepsilon = \frac{\Delta}{D} = \frac{\Delta}{4R}$  bo‘yicha hisoblanadi. Bundan ham soddarоq qilib aytganda, ekvivalent diametr  $d_{ek} = 4R$  tushunchasi kiritilib, avvalgi keltirilgan Darsi formulasи Reynolds soni va  $\lambda$  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 koeffitsiyentini  $v = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$  deb olamiz.

Suyuqlik sarfini u holda quyidagicha aniqlaymiz:

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

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

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

### **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-budirligi  $\Delta = 0,1$  mm.
2. Sug‘orish tizimlarida polietilen (yelim) quvurlar ishlataladi. Quvurning uzunligi  $l=500$  m, diametri  $d = 150$  mm, suvning sarfi  $Q = 30$  l/s va harorati  $t = 18^\circ\text{C}$  bo‘lganda quvurda yo‘qolgan damni aniqlang.

### **VI bob bo‘yicha nazorat savollari**

1. Gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti?
2. Absolyut va nisbiy g‘adir-budirlilik?
3. Nikuradze va Murin grafiklari?
4. Darsi koeffitsiyentini aniqlash uchun formulalarning qo‘llanish sohalari?
5. Nosilindrik quvurlardagi harakatlar?

## VII BOB. MAHALLIY GIDRAVLIK QARSHILIKLAR

Suyuqlik quvurlarda harakat qilganda, turli to'siqlarni aylanib o'tish uchun energiya sarflaydi. Ana shu sarflangan energiya suyuqlik bosimining pasayishiga sabab bo'ladi. Quvurlarda turli to'siqlar bo'lib, ularni aylanib o'tish uchun sarf etiladigan energiya bu to'siqlarning soniga va turlariga bog'liq.

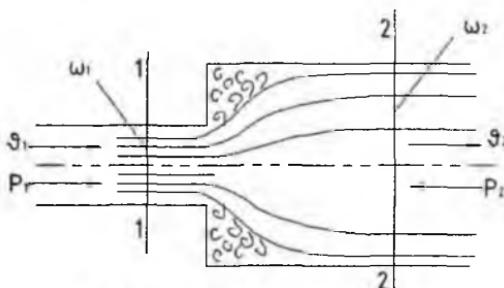
### 7.1. Mahalliy qarshilikning asosiy turlari. Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti

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

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

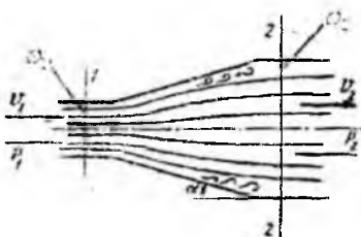
Proporsionallik koeffitsiyenti  $\zeta$  mahalliy qarshilik koeffitsiyenti deb ataladi va asosan tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Mahalliy qarshiliklarning asosiy turlari haqida to'xtalib o'tamiz.

1) **Keskin kengayish** (7.1-rasm). Mahalliy qarshilikning bu turida  $\zeta$  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 ( $V_2 < V_1$ ).



7.1-rasm. Keskin kengayish.

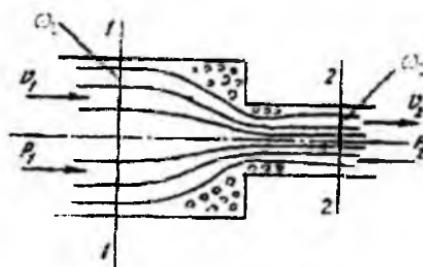
2) **Tekis kengayish** (7.2-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti kesimning o'zgarishiga va konuslik burchagi  $\alpha$  ga bog'liq bo'lib, kesimlar nisbati  $\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}$  ning kamayishi va  $\alpha$  ning ortishiga qarab ortadi.



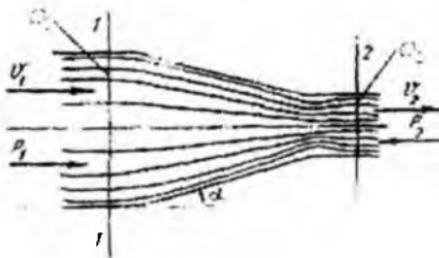
**7.2-rasm. Tekis kengayish.**

Avval ko'rildigandagi kabi 2-2 kesimda 1-1 kesimdagiga nisbatan bosim ortadi ( $p_2 > p_1$ ) va tezlik kamayadi ( $\vartheta_2 < \vartheta_1$ ).

3) **Keskin torayish** (7.3-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti  $\xi$  kesimlar o'zgarishiga bog'liq bo'lib, ularning nisbati ortishi bilan ortadi. Bu holda energiyaning sarf bo'lishi keskin kengayishiga nisbatan kam bo'ladi.



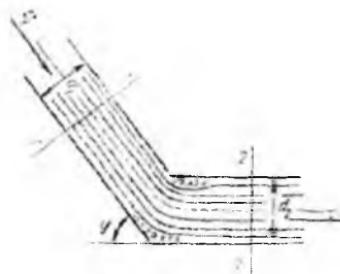
**7.3-rasm. Keskin torayish.**



**7.4-rasm. Tekis torayish.**

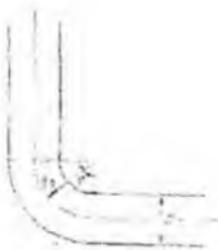
- 4) **Tekis torayish** (7.4-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti kesimlar nisbati  $\frac{\omega_1}{\omega_2}$  ning va konuslik burchagining ortishi bilan ortadi. Keskin torayishda ham, tekis torayishda ham 2-2 kesimda 1-1 kesimga nisbatan bosim kamayib ( $p_2 < p_1$ ), tezlik ortadi ( $V_2 > V_1$ ).
- 5) **Tirsak** (7.5-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ikki quvurning tutashish burchagiga bog'liq bo'lib, bu burchakning ortishi bilan ortadi.

$\xi$  ning  $\varphi$  ga bog'liqligi asosan tajribada tekshirilgan bo'lib, ba'zi sodda hollari oqimchalar nazariyasida ko'rildi.



**7.5-rasm. Tirsak**

- 6) **Burilish** (7.6-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti burilish burchagi  $\varphi$  va quvur diametrining burilish radiusi  $R_b$  ning nisbatiga bog'liq bo'ladi. Burilishda  $\xi$  quvur diametirining burilish radiusiga nisbati  $\frac{D}{R_b}$  ortishi bilan ortib boradi.



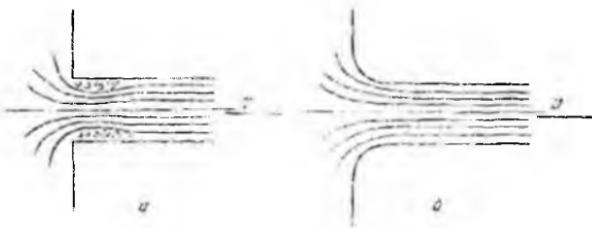
7.6-rasm. Burilish.

7) **Quvurga kirish** (7.7-rasm). Agar quvur biror suyuqlik bilan to‘la idishga tutashtirilgan bo‘lsa, u holda kirishdagi o‘tkir burchaklarini (7.7-rasm, a) aylanib o‘tish uchun suyuqlik energiyasi sarf bo‘ladi. Bu holda mahalliy qarshilik koeffitsiyentining qiymati:  $\xi = 0,5$ . Kirishdagi o‘tkir burchaklar silliqlanib, quvurga suyuqlik kirishiga kam qarshilik ko‘rsatadigan shakl berilgan bo‘lsa,  $\xi$  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).



7.7-rasm. Quvurga kirish

8) **Diafragma.** Quvurga o‘rnataladigan va suyuqlik sarfini o‘lhash uchun ishlataladigan o‘rtasi teshik disk diafragmaga aytildi (7.8-rasm). Bu holda mahalliy qarshlik 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 (6-jadval).



7.8-rasm. Berkitgich.

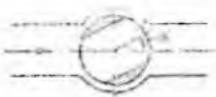
**Diafragma uchun qarshilik koeffitsiyentiining o‘zgarishi**

$\frac{\omega_0}{\omega_1}$	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 (7.8-rasm) ochilish darajasiga bog‘liq bo‘lib, uning ochilishi kattalashishi bilan kamayib boradi. Uning o‘rtacha ochilishiga  $\xi = 2,0$  to‘g‘ri keladi.

**10) Drossel klapan (7.9-rasm) va tiqin-jo‘mrak (7.10-rasm).** Bu hollarda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti drossel klapanning va tiqin jo‘mrakning ochilish burchagiga bog‘liq bo‘lib,  $\alpha=20^\circ$  dan  $50^\circ$  gacha bo‘lganda  $\xi$  ning qiymatlari:

Drossel klapan uchun  $\xi = 2 \div 53$ .



7.9-rasm. Drossel klapan.



7.10-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.

## 7.2.Reynolds sonining katta qiymatlari uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti

Biz mahaliy qarshiliklarni vujudga keltiruvchi to‘sinqarning turlari to‘g‘risda to‘xtalib o‘tdik. Bu to‘sinqlarda oqimning turbulent tartibga xos bo‘lgan hollaridagi qarshilik koeffitsiyentining o‘zgarishini ko‘rgan edik. Turbulent harakat vaqtida  $\xi$  koeffitsiyenti qarshilik ko‘rsatuvchi to‘sinq shakliga, kattaligiga, to‘sinqarning 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 qiymatlarda harakat tartibi turbulent bo‘lsa, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti  $\xi$  ning Re soniga bog‘liqligi juda ham sezilarsiz darajada bo‘lib, bu bog‘liqlikni to‘sinqlar shakli, turi va ochilish darajasining ta’siriga nisbatan hisobga olmaslik mumkin. Quyida biz

turbulent oqim uchun mahalliy qarshilikning asosiy turlarida  $\xi$  koeffitsiyentni hisoblash ustida to‘xtalib o‘tamiz.

### 7.3. Quvurning keskin kengayishi (Bord teoremasi)

Quvurning keskin kengayishi va bunda oqimning taxminiy sxemasi 7.10-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  $\xi$  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‘rnatsak,  $p_2 > p_1$  bo‘lgani uchun 1-1 kesimdagи pezometrda suyuqlik sathi 2-2 kesimdagи pezometrdagi suyuqlik sathidan  $h$  qadar past bo‘ladi. Agar kesimning kengayishi hisobiga gidravlik yo‘qotish bo‘lmasa edi, bu farq  $\Delta h$  miqdorda ko‘proq bo‘lardi. Ana shu ikkinchi pezometrdagi suv sathining  $\Delta h$  qadar pasayib qolishi mahalliy gidravlik yo‘qotishdan iboratdir.

1-1-kesimning sirti  $\omega_1$  2-2 kesimning sirti esa  $S_2$  bo‘lsin. U holda bu kesimlar

yuzasi bo‘yicha tezlik bir xil (ya’ni  $\alpha_1 \approx \chi_2 \approx 1$ ) deb hisoblasak, Bernulli tenglamasi shunday yoziladi

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{g_2^2}{2g} + h_{\text{kerq}} \quad (7.2.)$$

Endi, 1-1 va 2-2 kesimlar o'rtasidagi suyuqlikning silindrik hajmi uchun harak miqdorining o'zgarishi teoremasini qo'llaymiz. Buning uchun yon sirtlardagi urinn zo'riqishni taxminan nolga teng deb olib, aytilgan hajmga ta'sir qilayotgan tash kuchlar impulsini hisoblaymiz. 1-1 kesimni quvur kengayish kesimining ustida olinga deb qarash mumkin. U holda silindr asoslarining yuzalari tengligidan ularga ta's qiluvchi impul's o'zgarishi shunday yoziladi

$$(p_1 - p_2)\omega_2$$

1-1 kesimdagagi harakat miqdori  $\rho Q \vartheta_1$  va 2-2 kesimdagagi harakat miqdori  $\rho Q V_2$  bo'lgar

uchun ular orasidagi harakat miqdorining o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi.

$$\rho Q(\vartheta_2 - \vartheta_1).$$

Bu ikki miqdorni tenglashtirib, ushbu tenglamani olamiz:

$$(p_1 - p_2)\omega_2 = \rho Q(\vartheta_2 - \vartheta_1).$$

Tenglamaning ikki tomonini  $\omega_2$  ga bo'lsak u holda  $Q = \omega_2 \vartheta_2$  ni hisobga olib, ushbu

tenglamani olamiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\rho Q}{\gamma \omega_2} (\vartheta_2 - \vartheta_1) = \frac{\vartheta_2}{g} (\vartheta_2 - \vartheta_1). \quad (7.3)$$

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

$$\vartheta_2(\vartheta_2 - \vartheta_1) = \vartheta_2^2 - \vartheta_2 \vartheta_1 = \frac{\vartheta_2^2}{2} + \frac{\vartheta_1^2}{2} - \frac{2\vartheta_1 \vartheta_2}{2} + \frac{\vartheta_1^2}{2} - \frac{\vartheta_2^2}{2}$$

U holda (7.3) tenglama ushbu ko'rinishga keladi

$$\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = \frac{\vartheta_2^2}{2g} - \frac{\vartheta_1^2}{2g} - \frac{2\vartheta_1\vartheta_2}{2g} + \frac{\vartheta_2^2}{2g} + \frac{\vartheta_1^2}{2g} = \frac{\vartheta_2^2}{2g} - \frac{\vartheta_1^2}{2g} + \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2)^2}{2g}.$$

Oxirgi tenglama hadlarini bir xil indekslar bo'yicha guruhasak,

$$\frac{P_1 + \vartheta_1^2}{\gamma} - \frac{P_2 + \vartheta_2^2}{\gamma} = \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2)^2}{2g}.$$

Bu tenglamani (7.2) bilan solishtirsak, quyidagi kelib chiqadi

$$H_M = h_{kerg} = \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2)^2}{2g} \quad (7.4)$$

Olingan (7.4) formula *Bord formulasi* deyiladi.

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

Endi, (7.4) formulaga uzilmaslik tenglamasi

$$\vartheta_1 \omega_1 = \vartheta_2 \omega_2 \text{ ёки } \vartheta_2 = \frac{\omega_1}{\omega_2} \vartheta_1$$

ni qo'llasak, quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$H_M = \left( \vartheta_1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \vartheta_1 \right)^2 \frac{1}{2g} = \left( 1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \frac{\vartheta_1^2}{2g}$$

Bu munosabatni (7.1) ga solishtirib, keskin kengayish uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti formulasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$\zeta = \left( 1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2. \quad (7.5)$$

Bu olingan munosabat (tajribalarda tasdiqlanishicha) turbulent oqimlar uchun olingan tajriba natijalariga juda yaqin keladi. Shuning uchun u ko'rilgan hollarda hisoblash ishlariada keng qo'llaniladi. Quvurning kengaygan kesimi avvalgi kesimdan juda keng bo'lsa ( $\omega_2 \gg \omega_1$ ), u holda  $\zeta \approx 1$  bo'ladi

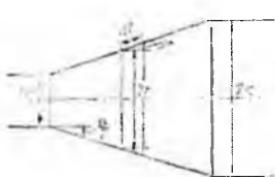
$$H_M = \frac{\vartheta_1^2}{2g}.$$

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

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

## 7.4. Diffuzorlar

Tekis kengayib boruvchi quvurlar (7.11-rasm) diffuzorlar deyiladi. Diffuzorlarda harakat tezligi kamayadi va bosim ortib boradi. Suyuqlik zarrachalari ortib borayotgan bosimni yengish uchun o‘z kinetik enegiyasini 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.



**7.11-rasm. Diffuzorlarda bosimning kamayishini hisoblashga doir chizma.**

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

$$h_{dy} = H_M = h_i + h_{keng},$$

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  $\frac{a}{2}$  burchak tashkil qilgan va radiuslari  $r_1$  dan  $r_2$  gacha o‘zgarib boruvchi uzunligi  $d_1$  bo‘lgan elementar silindrik naychalardan tashkil topgan deymiz (7.11-rasm). U holda har bir elementar naycha uchun quyidagiga ega bo‘lamiz:

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

V - ixtiyoriy ko'rيلayotgan kesimdagи o'rtacha tezlik va ixtiyoriy kesim yuzasi  $S = \pi r^2$  ga teng desak;

$$dl = \frac{dr}{\sin \alpha} \text{ va } g = \frac{\omega_1}{\omega_2} g_1 = \left( \frac{r_1}{r} \right)^2 g_1$$

ni hisobga olib

$$dh_n = \lambda_n \frac{dr}{2r \sin \alpha} \left( \frac{r_1}{r} \right)^4 \frac{g_1^2}{2g}$$

formulani keltirib chiqaramiz.

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

$$h_i = \lambda_i \frac{r_1^4}{2 \sin \alpha} \frac{g_1^2}{2g} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^5} = \frac{\lambda_i}{8 \sin \alpha} \left[ 1 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^4 \right] \frac{g_1^2}{2g}. \quad (7.6)$$

Kengayish hisobiga bosimning pasayishini hisoblash uchun keskin kengayishdagi (7.4) formuladan foydalanamiz va bunda diffuzor keskin kengayishini taxminiy ifodalangani uchun  $k$  koefitsiyent kiritamiz. U holda

$$h_{keng} = k \frac{(g_i - g_1)^2}{2g} = k \left[ 1 - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \frac{g_1^2}{2g}. \quad (7.7)$$

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

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

Flingerning taxminiy formulasi bo'yicha

$$k = \sin \alpha$$

ga teng. Buni hisobga olib (7.6) va (7.7) yig'indisidan quyidagini olamiz:

$$H_M = h_{dif} = \left[ \frac{\lambda_i}{8 \sin \alpha} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{1}{n} \right)^2 \right] \frac{V_1^2}{2g} = \zeta_{dif} \frac{V_1^2}{2g}, \quad (7.8)$$

bu yerda  $n = \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2$  belgilash kiritilgan bo'lib, u diffuzorning kengayish darajasi deyiladi.

Shunday qilib, diffuzor uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$\zeta_{\text{diff}} = \frac{\lambda_1}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \frac{\alpha}{2} \left( 1 - \frac{1}{n} \right)^2. \quad (7.9)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti  $\lambda_1$ , konuslik burchagi va kengayish darajasiga bog'liq ekan.

(7.9) dan ko'rinib turbdiki,  $\alpha$  ning  $n$  ning ortishi bilan ( $\lambda_1$  o'zgarmas bo'lganda) yig'indining birinchi hadi kamayadi, ya'ni ishqalanish kuchining ta'siri kamayib, diffuzor kaltalashadi va uyurmalarning ta'siri ko'payadi,  $\alpha$  kamayganda esa (o'zgarmas kengayish darajasi  $n$  da) ishqalanish kuchi ortib, uyurmalar kamayadi.

Hisoblashlarda odatda  $\lambda_1 = 0,015 \div 0,025$  deb olinadi. Bu holda, eng qulay diffuzor uchun nazariy yo'l bilan kengayish darajasi  $n = 2 : 4$  ni keltirib chiqaramiz. Bu konuslik burchagi  $\alpha = 6^\circ$  ga to'g'ri keladi.

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

## 7.5. Quvurlarning torayishi.

Keskin torayishda (7.11-rasm) kesimlar nisbati bir xil bo'lgan keskin kengayishga nisbatan kamroq energiya sarf bo'ladi. Bu holda energiyaning sarf bo'lishiga tor quvurga kirishdagi ishqalanish kuchi va uyurmalar paydo bo'lish sababdir. Uyurmalarning paydo bo'lishi esa oqimning tor quvurga kirish oldidagi burchakni aylanib o'ta olmay, keng quvur sirtidan ajralishiga va torayishiga, natijada quvur devori va oqim orasida juda sekin harakatlanuvchi uyurmali oqim paydo bo'lishiga olib keladi. Oqimning torayishi u tor quvurga kirganda ham davom etadi va so'ngra kengayadi. Bu davrda gidravlik yo'qotish keskin kengayishdagi kabi aniqlanadi. Shunday qilib, bosimning to'liq pasayishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$H_M = h_{\text{ur}} = \zeta_0 \frac{\beta_1^2}{2g} + \frac{(\beta_1 - \beta_2)^2}{2g} = \zeta_{\text{ur}} \frac{\beta_1^2}{2g}, \quad (7.10)$$

bu yerda:  $\zeta_0$  – tor quvurga kirishdagi ishqalanishni aniqlovchi qarshilik koeffitsiyenti;  $V$  – toraygandagi tezlik.

Keskin torayishning qarshilik koeffitsiyenti torayish darajasi  $n = \frac{\omega_1}{\omega_2}$  ga bog'liq va

I.E. Idelshik tomonidan taklif qilingan quyidagi yarim empirik formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$\zeta_{\text{tor}} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \quad (7.11)$$

Formulalardan ko'rinish turibdiki,  $\frac{1}{n} \approx 0$  deb hisoblash mumkin bo'lsa, ya'ni katta idishdan quvurga kirish holida, agar kirish burchagi silliqlangan bo'limasa, qarshilik koeffitsiyenti (1.70-rasm)  $\zeta_{\text{tor}} = 0,5$  bo'ladi. Kirish burchagi (kirish qirrasi) silliqlangan bo'lsa, qarshilik kuchi kamayadi.

Tekis torayish (7.11-rasm) konfuzor deb ataladi. Konfuzorda suyuqlik oqayotganda tezlik ortib, bosim kamayib boradi. Suyuqlik katta bosimli sohadan kichik bosimli sohaga qarab harakat qilgani uchun uyurmalar paydo bo'lishi va diffuzordagi kabi oqimning sirtdan ajralishiga hech qanday sabab yo'q. Shuning uchun konfuzorda energiya faqat ishqalanishga sarf bo'jadi. Shunday qilib, konfuzordagi qarshilik kuchi xuddi shunday diffuzordagiga qaraganda kichik bo'ladi.

Konfuzordagi bosimning pasayishini diffuzordagi kabi elementar bo'laklarga bo'lib, so'ngra integrallab hisoblash mumkin. Shu usul bilan quyidagi formulani olamiz:

$$H_M = \frac{\lambda_1}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) \frac{g_2^2}{2g} \quad (7.12)$$

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 sopllo deyiladi.

## 7.6. Tirsaklar

Quvurlarning keskin burilishi yoki tirsaklarda (7.12-rasm), odatda anchagini miqdorda energiya sarf bo'ladi. Tirsaklarda energiya sarfiga oqimning (quvur sirtidan)

ajralishi va uyurmalar yuzaga kelishi sabab bo'lib,  $\varphi$  burchak qancha katta bo'lsa, sarf ham shuncha ko'p bo'ladi.

Silindrik quvurlardagi tirsaklarda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti  $\zeta_r$  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:

$$\zeta_r = 0,946 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\varphi}{2}. \quad (7.13)$$

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

Quvurlardagi burilishlarni (7.12-rasm) ham, odatda, tirsaklar deb atash mumkin. Bunday burilishli tirsaklarda uyurmalar kamroq paydo bo'ladi. Bu holda qarshilik koeffitsiyenti  $\zeta_b$  ni hisoblash uchun ushbu formuladan foydalaniлади:

$$\zeta_b = \left[ 0,131 + 0,163 \left( \frac{D}{R_b} \right)^{3,5} \right] \frac{\varphi}{90^\circ}. \quad (7.14)$$

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

$$\zeta_b \approx \zeta'_b \approx 0,051 + 0,19 \frac{D}{R_b}. \quad (7.15)$$

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.

$$\zeta_b = \left( 0,7 + \frac{\varphi 0,35}{90^\circ} \right) \zeta'_b \quad (7.16)$$

Burilishdagi bosimning pasayishi qarshilik koeffitsiyenti aniqlashga keladi

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

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.

### 7.8. Reynolds sonining kichik qiymatlarida mahalliy qarshilik koeffitsiyenti.

Yuqorida aytganimizdek, Reynolds sonining katta qiymatlarida (agar harakat turbulent bo'lsa) mahalliy qarshilikning  $Re$  ga bog'liqligi shunchalik kichikki, uning ta'sirini hisobga olmasa ham bo'ladi. U holda, yuqorida keltirilgan usullar bilan turli qarshilik koeffitsiyentlarini hisoblash mumkin.

Laminar harakat vaqtida esa umumiy qarshilik ishqalanish kuchi va uyurmalar yuzaga kelishi hisobiga paydo bo'lgan qarshiliklar yig'indisiga teng. Buni hisobga olib, o'tkazilgan tajribalar mahalliy qarshilik koeffitsiyentini quyidagi ko'rinishda ifodalashga imkon beradi:

$$\zeta = \frac{A}{Re} + B \quad (7.17)$$

Keyinchalik o'tkazilgan A.D. Altshul, V.N.Karayev va N.Z. Frenkellarning tajribalari Reynolds sonining kichik qiymatlarida ( $Re < 9$ ) mahalliy qarshilik koeffitsiyentini  $Re$  ga teskari proporsional ko'rinishda olish mumkin ekanligini ko'rsatadi:

$$\zeta = \frac{A}{Re}$$

Demak, Reynolds sonining juda kichik qiymatlarida qarshilik koeffitsiyenti mahalliy qarshilikning shakliga bog'liq bo'lmay, faqat  $Re$  soniga bog'liq bo'lar ekan.

Laminar tartibli oqimlar uchun Reynolds sonining kattaroq qiymatlarida esa mahalliy qarshilik (2.17) ka qaraganda biroz murakkabroq ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

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

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,

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

"Azneftekombinat"ning gidravlik laboratoriyasida o'tkazilgan tajribalar bo'yicha  $m = 0,25$  bo'ladi:

$$\zeta = \frac{C_1}{Re^{0.25}}$$

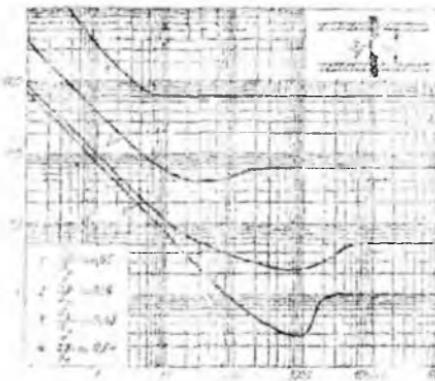
Tajriba natijalaridan ko'rindiki, Reynolds sonining kattaligi ortishi bilan mahalliy qarshiliklar shaklining ta'siri ortib boradi,  $Re > 3500$  bo'lganda, xususan turbulent tartibga o'tganda, bu ta'sir hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Misol sifatida 7.12-rasmda 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'rindi. 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'rilib yotgan quvurning shunday uzunligi olinadiki, undagi ishqalanish qarshiligi mahalliy qarshilikka teng. Bu holda:

$$H_M = \zeta_M \frac{g^2}{2g} = \lambda \frac{l''_{\text{ekv}} g^2}{D \cdot 2g} \quad (7.19)$$



7.12-rasm. Kichik Re da mahalliy qarshilik

Bundan ekvivalent uzunlik uchun formula chiqaramiz:

$$l''_{\text{ekv}} = \zeta_M \frac{D}{\lambda} \quad (7.20)$$

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

### **7.9. Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitatsiya hodisasi**

Suyuqliklarda gazlarning erishi haqida so'z yuritilgan 8-§ da biz kavitatsiya hodisasi ustida to'xtalib o'tdik va kavitatsiya hodisasi suyuqliklarda agregat holatining o'zgarishi bilan bog'liq ekanligi ko'rsatiladi. Unda kavitatsiya hodisasi bosimning kamayishi yoki temperaturaning ortishiga bog'liq ekanligi aytilgan edi. Mahalliy qarshiliklarda temperatura o'zgarmay, oqim kesimining o'zgarishi natijasida suyuqlikdak erigan gazlarning miqdori o'zgaradi. Suyuqliklarning zichligi (yoki solishtirma hajmi) deyarli o'zgarmagani uchun unda erigan gazlarga Boyl-Mariot qonunini qo'llash mumkin bo'ladi.

$$pV = RT$$

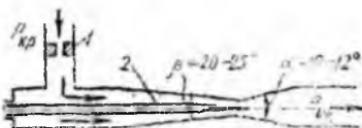
bu yerda  $p$  - bosm,  $V$  - solishtirma hajm,  $T$  - absolyut temperatura,  $R$  - gaz doimiysi.

Suyuqlik oqimlarida temperatura o'zgarmagani va ko'ndalang kesim kichrayganda bosim ortib, kesim kattalashganda bosim kamaygani uchun mahalliy torayish mavjud joylarda tezlik ortib, bosim kamayadi (masalan, keskin torayish, konfuzor, jo'mraklar, teshikchalar, diafragmalar va h. k.). Agar bu yerda absolyut bosim suyuqlikning to'yingan bug'larining shu temperaturadagi portsial bosimga teng bo'lsa, u holda bug'lanish va erigan gazlarning ajralish hodisasi yoki mahalliy qaynash hodisasi ro'y beradi. Torayishdan keyin kengayish boshlanishi bilan bosim ortib, qaynash to'xtaydi va ajralgan bug'lar kondensatsiyalanib, gazlar eriydi, ya'ni kavitatsiya hodisasi yuz beradi. Kavitatsiya hodisasi yuqori chastotali mahalliy kichik gidravlik zarbalarning kelib chiqishiga sabab bo'ladi. Bu hodisa gidrosistemalarda odatdagि tartibning buzilishiga, ayrim hollarda esa, uning qismlarining ishdan chiqishiga sabab bo'ladi, quvurlarda qarshilikning ortishiga olib keladi.

Shuning uchun mahalliy qarshiliklarda kavitatsiyaning kelib chiqishiga qarshi kurash olib boriladi. Bunday usullardan biri mahalliy qarshilikning bosim kamayuvchi qismida klapanlar yordamida bosimni ko'tarishdan iborat. Lekin bu usul bosimning pasayish darajasi yuqori bo'lganda ko'p foyda bermaydi, ammo kavitatsiyaning zararli ta'sirini kamaytirishga yordam beradi.

## 7.10. Kavitatsiyadan amalda foydalanish

Kavitatsiya hodisasidan amalda foydalanish ham mumkin. Xususan bu hodisani sarfini stabillash maqsadida Venturi soplolaridan foydalanishda ko‘rish mumkin (7.13-rasm). Kirishdag‘i bosim  $p_{kr}$  o‘zgarmagan holda, chiqishdag‘i bosim  $p_{chq}$  kamayishi



7.13-rasm. Kavitatsiya hodisasidan sarfni barqarorlashda foydalanish uchun qurilma

bilan oqimning tezligi va sarfi ortadi. Lekin tezlik ortishi bilan soploning toraygan qismida bosim kamayadi. Bu bosim kavitatsiyaning boshlanishiga olib keluvchi bosim miqdoriga tenglashsa yoki undan 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, chiqishdag‘i 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 voqeа gidrosistemalarning chiqish qismida bosim miqdorining o‘zgarib turishi hollarida suyuqlik sarfini stabillash uchun kerak bo‘ladi.

Ko‘rilayotgan qurilmada (7.13-rasm) sarfni o‘lhash 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.

## 7.11. Mahalliy qarshiliklarning o‘zaro ta’siri

Gidravlik sistemalarda umumiy qarshilik uning qismlaridagi ayrim qarshiliklarning yig‘indisidan iborat. Masalan, quvurda bir qancha mahalliy qarshiliklar (tirsak, jo‘mrak, diafragma, eshikcha va h.k.) bo‘lib, ularni xarakterlovchi mahalliy

qarshilik koeffitsiyentlari  $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots, \zeta_n$  bo'lsin. Agar qurvuring uzunligi  $z$ , diametri  $D$  va sarfi  $Q$  bo'lsa, undagi ishqalanish qarshiligi

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

mahalliy qarshiliklar quyidagicha bo'ladi:

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

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

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

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

Bularni qo'shib, umumiy qarshilikni topamiz:

$$H = \left( \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_n + \lambda \frac{Z}{D} \right) \frac{g^2}{2g} \quad (7.21)$$

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

$$\zeta_{sist} = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \dots + \zeta_n + \lambda \frac{Z}{D} \quad (7.22)$$

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 oqimiga 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  $l_{cr}$  quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

$$l_{cr} = 0,693 \text{Re}^{0,25} D$$

bu yerda  $D$  - quvurning ichki diametri

Quvurning kirish qismi juda yaxshi silliqlanganda laminar oqimning turg'unlashuv qismi  $0,29 \text{ Re}D$  gacha kamayadi.

Amalda mahalliy qarshiliklarni bir-biridan to'g'ri chiziqli bo'lak bilan ajratib, ular orasidagi masofani  $l \leq (10 + 20)D$  ga tenglashtirishga harakat qilinadi.

Odatda, gidrosistemalarda mahalliy qarshiliklar bizning ixtiyorimizga bog'liq bo'limgan 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  $Q = 0,026 \text{ m}^3/\text{s}$ . Quvurda yo'qolgan dam (napor)ni aniqlang. Agar quvurning diametrini 20% kamaytirsak yo'qolgan dam (napor) miqdori qanchaga o'zgaradi? Quvurning g'adir-budurligi  $\Delta=0,2$  mm.

**Yechimi:** I. Quvurdagi oqim tezligi:

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

Suyuqlikning harakat rejimini aniqlaymiz: jadvaldan  $t = 20^\circ\text{C}$  haroratdagи benzinning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti  $v = 0,75 \text{ mm}^2/\text{s}$ .

Reynolds soni:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{v} = 177 \cdot 10^3.$$

demak, harakat rejimi turbulent.

U holda gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

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

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.

### **Mustaqil yechishga doir masalalar**

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

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

3. Laboratoriya sharoitida po'lat quvurning gidravlik ishqalanish koefitsiyentini 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 koefitsiyentini aniqlang.

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

## **VII bob bo'yicha nazorat savollari**

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

## VIII BOB. SUYUQLIKLARNING TESHIK VA NAYCHALARDAN OQISHI

Texnikada juda ko‘p hollarda suyuqliklarning tor va kalta naychalardan hamda teshiklardan oqish hollarini uchratish mumkin. Bu holning o‘ziga hos hususiyati 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 gidrosilindrлardan bosim ostida oqib chiqishi, yoqilg‘ining yonish kamerasiga oqib o‘tish va hokazolarda uchratish mumkin. Odatda bu masalalarni yechishda oqim fizikasiga bog‘liq shartlar kiritiladi.

### 8.1. Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o‘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 (8.1-rasm, a). Diametri idish o‘lchamlariga qaraganda juda kichik bo‘lgan teshik kichik teshik deb ataladi. Yupqa devor deb oqayotgan suyuqlik teshikning faqat ichki qirrasiga tegib, uning yon sirtiga tegmagan holga aytildi. Bunday hol devor qalinligi teshik diametridan bir necha barobar kichik bo‘lsa yoki teshik kesimining ichki qirrasidan tashqariga kengayib borsagina (8.1-rasm, b) o‘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

(8.1-rasm, a) yuzasi  $\omega_1$  bo‘lgan 1-1 (erkin sirt) va  $\omega_2$  bo‘lgan 2-2 oqayotgan suyuqlik oqimchasining teshik oldidagi kesimlari uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \zeta \frac{g^2}{2g}. \quad (8.1.)$$

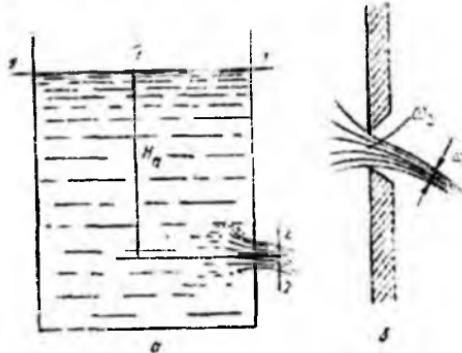
Bundan teshik uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti nolga teng bo‘lgan holda  $z_1 - z_2$

$= H$  va  $\vartheta_1 \omega_1 = \vartheta_2 \omega_2$  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:

$$g_n = g_2 \sqrt{\frac{2g \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H}{1 - \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}}, \quad (8.2)$$



8.1-rasm. Suyuqlikning teshiklaridan oqib ketishiga doir chizma

Agar idishning kesimi  $\omega_1$  ga qaraganda teshikning kesmi  $\omega_2$  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

$$\vartheta_n = \vartheta_2 = \sqrt{2gH}. \quad (8.3)$$

Bu formula Torichelli formulasi deb ataladi, u suyuqlikning tor teshikdan oqishi tezlikni hisoblash uchun nazariy formuladir.

Suyuqlikning teshikdan oqish tezligi ma'lum bo'lgan holda sarfni hisoblash qiyin emas

$$Q_n = \vartheta_n \omega_i. \quad (8.4)$$

Lekin amalda oqimcha teshikdan chiqayotganda uning kesimining torayishi sababli ko'riliyotgan masala biz ko'rgandagiga qaraganda murakkabroq. Shuning uchun biz chiqargan tezlik formulalari tezlik va sarfni nazariy tekshirish uchun qo'l-lanib, amalda esa ularga ma'lum tuzatishlar kiritiladi.

## 8.2. Siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari

Biz yuqorida suyuqlikning teshikdan oqishini ko'rganimizda oqimchaning teshiddagi 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  $\omega_c$  kesimli oqimcha ko'rinishida harakat qiladi. Oqimchaning torayishi

taxminan teshik diametriga teng masofada to'xtaydi. Torayishni hisoblash uchun, odatda siqilish koeffitsiyenti  $\varepsilon$  kiritiladi

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega_2} \quad (8.5)$$

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

Biz teshikdan oqayotgan suyuqlik tezligi uchun formula chiqarishda  $\zeta = 0$  deb qabul qilgan edik. Amaldağı tezlikni hisoblash uchun esa (8.1) dagi mahalliy qarshilik koeffitsiyenti  $\zeta$  ni hisobga oлган 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

$$g_a = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} \sqrt{2gH}. \quad (8.6)$$

Bu formulani (8.3) bilan solishtirsak, amaliy va nazariy tezliklar o‘rtasida quyidagi munosabatni olamiz

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} g_a. \quad (8.7)$$

Bundan ko‘rinadiki, amaliy tezlik nazariy tezlikdan kichik ekan. Odatda, amaliy tezlikning nazariy tezlikka nisbatini tezlik koeffitsiyenti deb ataladi va  $\varphi$  bilan belgilanadi:

$$\varphi = \frac{g_a}{g_n} \quad (8.8)$$

(8.8) ni (8.7) bilan solishtirish natijasida tezlik koeffitsiyentini hisoblash uchun ushbu formulaga ega bo‘lamiz:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}}. \quad (8.9)$$

Ko‘rinib turibdiki,  $\varphi < 1$ . Ideal suyuqliklar oqqanda esa  $\zeta = 0$ ,  $\varphi = 1$  bo‘lib, oqish tezligi uchun nazariy formulani olamiz. Tajribalarning ko‘rsatishicha suv uchun  $\zeta \approx 0,06$ ,  $\varphi \approx 0,97 \div 0,98$  bo‘ladi.

Teshikdan oqayotgan suyuqlikning amaliy sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q_a = \varphi_a \omega_e$$

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

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

Bu so'nggi formulani (8.4) bilan solishtirib, nazariy va amaliy sarflar uchun quyidagi bog'lanishni olamiz:

$$Q_a = \varphi \varepsilon Q_n = m \vartheta_n \omega_2. \quad (8.10)$$

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

$$m = \varphi \varepsilon \quad (8.11)$$

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

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

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

$\varepsilon$ ,  $\varphi$ ,  $m$  larning keltirilgan qiymatlari Reynolds sonining katta miqdorlari uchun to'g'ri. Aslini olganda bu koeffitsiyentlar  $Re$  ning funktsiyasidir.

### 8.3. Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi

Idish devoridagi teshikka o'rnatilgan kalta quvurlar *naychalar* deb ataladi. Odatta, naychalardan sarfini ko'paytirish yoki ixcham oqimchalar olish uchun foydalilanildi. Ko'p hollarda idish devori qalin bo'lib, u parma bilan teshilganda naycha shaklida teshik paydo bo'ladi.

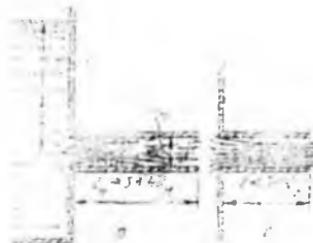
Naychalardan oqadigan suyuqlikni hisoblashda yuqorida keltirilgan tezlik va sarf formulalardan foydalanamiz, lekin  $\varepsilon$ ,  $\varphi$ ,  $m$  koeffitsiyentlarning qiymatlari boshqacha bo'ladi.

Silindrik naychalardan suyuqlik oqayotganda kirishda u devordan ajraladi va torayadi. Bu hodisa xuddi yupqa devordagi teshikdan oqish holdagi 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'ndalnag kesimiga teng

kesimda chiqib ketadi. Bu hodisa naychaning uzunligi  $l$  uning diametridan 3÷4 marta katta bo‘lganda to‘liq amalga oshadi (8.2-rasm, a).

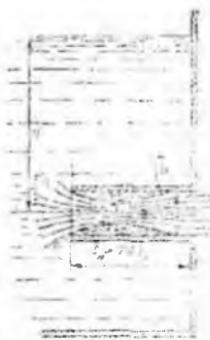
Bu holda oqimcha diametri naycha diametriga teng bo‘lgani uchun siqilish koeffitsiyenti  $\epsilon = 1$ , binobarin,  $m = \varphi$  bo‘ladi.

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 (8.2-rasm, b).



**8.2-rasm. Naychadan oqish.**

Naycha uzunligining uning diametriga nisbati  $\frac{l}{D}$  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:



**8.3-rasm. Ichki silindrik naycha.**

Yupqa devordagi teshikdan oqish holi bilan solishtirish natijasi shuni ko‘rsatadi-ki, silindrik naychalardan oqishda oqimchaning siqilishi bo‘limgani 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 (8.3-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.

#### 8.4. Turli xil naychalar

Silindrik naychalarining kamchiliklari shulardan iboratki, ularning uzunligi yetarli bo‘lib, oqimcha to‘liq kengayishga ulgursa (8.3-rasm a), u holda qarshilik ortib ketadi. Agar u kaltaroq bo‘lsa, oqimcha to‘liq kengaymasligi (8.3-rasm, b) natijasida sarf koeffisieti kamayib ketadi. Shuning uchun, odatda, boshqa xildagi naychalar ham qo‘llaniladi. Ular konussimon kengayuvchi (8.4-rasm, a), konussimon torayuvchi (8.4-rasm, b) va konoidal (8.4-rasm, v) naychalaridir.

**Konussimon kengayuvchi naychalarda** (diffuzorlarda) kirishda oqimcha juda ko‘p torayadi, so‘ngra esa tez kengaya boshlaydi va naychani butunlay to‘ldiradi. Shuning uchun siqilish koeffitsiyenti  $\varepsilon=1$ . Konuslik burchagi  $\Theta>8^0$  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 koeffitsiyentlari ( $\Theta>8^0$  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 koeffitsiyentidan buning aksi ko‘rinadi, lekin bu koeffitsiyent 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  $\varphi$ ,  $m$ ,  $\varepsilon$  koeffitsiyentlar konuslik burchagi  $\Theta$  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

surf bo'lgan energiya ham kam bo'ladi. Tajribadan ma'lumki torayuvchi naychalarda tezlik koeffitsiyenti konuslik burchagi ortishi bilan ortib boradi: surf koeffitsiyenti esa avval ortib borib,  $\Theta = 13^\circ$  da eng katta qiymatga ( $m = 0,946$ ) erishadi, so'ngra esa kamayadi. Shuni aytish keraki surf koeffitsiyenti ortganiga qaramay torayuvchi naychalarda surf kamayadi, shunki barcha koeffitsiyentlar chiqish qismiga nisbatan olingan. Bu naychalarda chiqish kesimi kirish kesmiga nisbatan toraygani uchun katta tezliklar olish mumkin.

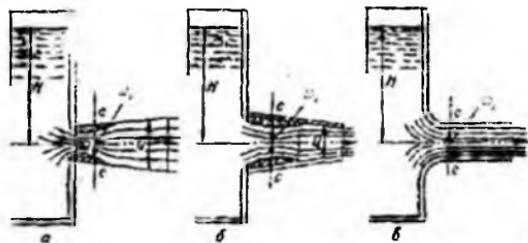
**Konoidal naychalar**ning shakli yupqa devordagi teshikdan oqayotgan suyuqlik oqimi shakliga o'xshash bo'ladi. Shuning uchun ularda ichki torayish boshqa naychalariga qaraganda juda kichik bo'lib, qarshilik ham kam bo'ladi. Demak tezlik surf va siqilish koeffitsiyentlari eng katta bo'ladi. Tajribalarning 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 surf beradi, lekin ularni yasash qiyin bo'lgani uchun amalda juda kam qo'laniadi.

Turli naychalarda suv uchun oqish koeffitsiyentlarining qiymatlari 7-jadvalda keltirilgan. Turli naychalar aktiv turbinalarning soplolarida gidravlik turbinalarning so'ruvchi quvurlarida, fontanlarning soplolarida, brandspoyt, gidromonitorlarda turli suyuqliknki so'ruvchi va sochuvchi va boshqa turli qurilmalarda ishlataladi.

Naychalar katta idish devoriga emas, balki quvurning uchiga o'rnatilgan bo'lsa, (8.8) va (8.10) fromulalarda kirishdagi tezlik  $V_1$  ni hisobga olish kerak bo'ladi. Bu holda surf formulasi quyidagicha yoziladi:

$$Q = m \frac{\pi D_n^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 - \left(\frac{D_n}{D_r}\right)^2}} \quad (8.12)$$

bu yerda  $D_n$  va  $D_r$  - naycha va quvur diametrlari.



8.4-rasm. a - konussimon kengayuvchi naycha, b - konussimon torayuvchi naycha,

Har xil shakldagi naychalar va dumaloq teshik uchun siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari.

T №	Naychalar turi va teshiklar	Rasmlar	E	$\varphi$	m	$\zeta$
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 $\Theta = 7^0$ bo'lganda	80-a	1	0,45	0,45	3-4
5	Konussimon torayuvchi naycha $\Theta = 13^0 24'$ bolganda	80-b	0,982	0,963	0,946	0,09
6	Konoidal naycha	80-c	1	0,97	0,97	0,04

Ba'zi hollarda katta sarf yoki tezlik olish uchun ikki xil naychani ketma-ket qo'yiladi. Masalan, brandspoytlarda quvurning uchiga oxiri silindrik naycha bilan tugaydigan konussimon torayuvchi naycha qo'yiladi.

### 8.5. Suyuqliklarning teshikdan o'zgaruvchan naporda (bosimda) oqishi

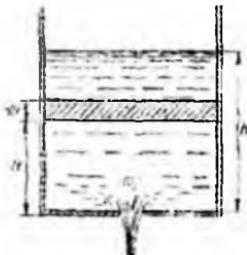
O'zgaruvchan bosimda oqish yoki idishlarning teshikdan yoki naychadan oqish hisobiga bo'shashi masalasini ko'ramiz. Idishning tubida teshik yoki naycha bo'lib, undan suyuqlikning oqish hisobiga bosim kamayib boradi. Natijada oqish tezligi ham kamayib boradi. Shuning uchun bu masala beqaror harakatga 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  $\omega$ , teshikning yuzini  $\omega_0$  bilan belgilaymiz (8.5-rasm). Kichik vaqt oralig'i

$dt$  davomida idishdagi suvning sathi (teshikdan oqish hisobiga)  $dH$  ga o'zgaradi. Bu

vaqt ichida oqib ketgan suyuqlik miqdori idishdagi suyuqlikning kamayishi  $Qdt$  ga teng, ya'ni

$$\omega dH = -Qdt \quad (8.13)$$



### 8.5-rasm. Idishning suyuqlikdan bo'shashiga doir chizma

Bu yerda manfiy ishora idishdagi suyuqlikning kamayganini bildiradi. Ko'rileyotgan 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'rindikli,

$$dt = -\frac{\omega dh}{m\omega_0 \sqrt{2gH}}. \quad (8.14)$$

Agar sarf koeffitsiyenti  $m$  ni idish bo'shashi davomida o'zgarmaydi desak, u holda idishning bo'shash vaqtini quyidagicha hisoblanadi

$$t = -\frac{1}{m\omega_0 \sqrt{2g}} \int_H^0 \omega \frac{dH}{\sqrt{H}}. \quad (8.15)$$

Vaqt davomida suyuqlik sirti yoki idish kesimi yuzi  $\omega$  ning sathi  $H$  ning o'zgarishiga qarab qanday o'zgarishi  $\omega = f(H)$  ma'lum bo'lsa, u holda (8.15) tenglikning o'ng tomonidan integralini hisoblash mumkin. Prizmatik idishlar uchun  $\omega = const$  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

$$t = \frac{2\omega}{m\omega_0\sqrt{2g}} \sqrt{H} = \frac{2\omega H}{m\omega_0\sqrt{2gH}} \quad (8.16)$$

Idishdagı 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 vaqt bilan quyidagicha bog‘lanadi

$$t = \frac{2\vartheta_d}{Q}$$

Bu formuladan ko‘rinadiki, o‘zgaruvchan bosimda idishning bo‘shash vaqt shu bo‘shagancha hajmli suyuqlikning o‘zgarmas  $H_d$  bosimda oqib ketishi uchun ketgan vaqtga qaraganda ikki baravar ko‘p ekan. Bunday masalalar benzin baklarning bo‘shab borishini hisoblashda kerak bo‘ladi. Masalan, (8.15) tenglamadan suyuqlik sathining  $H_1$  dan  $H_2$  gacha o‘zgarishi uchun ketgan vaqtini quyidagicha hisoblash mumkin.

$$t = \frac{2\omega}{m\omega_0\sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (8.17)$$

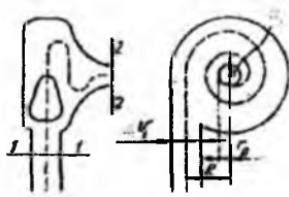
Shuningdek, o‘xshash yopiq idishlarning kichik diametrali teshiklardan oqishi hisobiga bo‘shashi masalasini ham ko‘rish mumkin. Suyuqlikning bosimi ko‘p idishdan bosimi kam idishga o‘tishi masalasini ham xuddi shunday ko‘rish mumkin.

## 8.6. 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, sopolar va boshqalar ni 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 ishlatalidigan maxsus nay-chaladir. Bunday forsunkalar yonish kameralariga yoqilg‘ini yuqorida aytigan usul bilan yetkazib berib, u yerda uning yonishiga yordam beradi. Ularning ishlash printsipi

quyidagicha avval suyuqlikning uyurma harakati vujudga keltiriladi, so'ngra esa hosil bo'lgan oqim toraytiriladi (8.6-rasm).



8.6-rasm. Forsunka kesimining

8.7-

rasm. Forsunka uyurmali

sxemasi.

oqimchaning hosil bo'lish sxemasi.

Suyuqlik forsunka ichiga urinma bo'yicha kiritilishi natijasida uning harakat miqdori momenti deyarli o'zgarmaydi, ammo oqimning torayishi natijasida aylanma tezlik ortib borib, markazdan qochma kuchning ortishiga sabab bo'ladi. Bu kuch suyuqliknini 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 (8.7-rasm,a). Bu uyurma idishlarning bo'shashidagi uyurma varonkasi (8.7-rasm,b) ga o'xshaydi, lekin forsunkada tezkorroq bo'ladi. Forsunkada suyuqlik sarfi formulasi (8.10) quyidagicha yoziladi:

$$Q = m \omega_0 \sqrt{2g \frac{p}{\gamma}}$$

bu yerda  $p$  - forsunka ichida suyuqlikning bosimi  $m$  - sarf koeffitsiyenti, u maxsus formula bilan topiladi.  $\omega_0$  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:

$$m = \frac{\epsilon}{\sqrt{1 + \frac{A^2 - \epsilon^2}{1 - \epsilon}}}$$

$$A = \frac{\omega_0 R}{\omega_1 r_0} \quad (8.18)$$

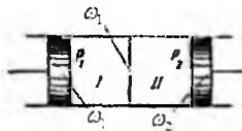
Bu yerda  $\omega_1$  - forsunkaga kirishdagi kesim yuzi  $R$  - kirishdagi oqimning aylanish radiusi  $r_0$  - chiqishdagi kesim radiusi.

Oqimchaning siqilish  $\varepsilon$  va tezlik koefitsiyentlari  $\varphi$  uchun quyidagi formulalari chiqarilgan:

$$\varepsilon = 1 - \frac{r^2 y}{r_0^2} \quad (8.19)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}}$$

bu yerda  $r_y$  - havo uyurmasining tashqi radiusi.



*8.8-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

$$Q = \frac{\varepsilon \omega_0}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}} \sqrt{2gH} \quad (8.20)$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}} \sqrt{2gH} \quad (8.21)$$

Suyuqlik reaktiv dvigatellaridagi forsunkalardan uyurma harakat suyuqlikni urinma bo'yicha keltirish o'rniiga, vintli uyurma hosil qiluvchi qurilma yordamida vuju-dga keltiriladi.

Drossellar va klapanlar (gidrouzatmalarda) bosim ma'lum chegaradan ortib ketganda uni kamaytirish uchun ishlataladi. Bularning turlari juda ko'p bo'lib, ular to'g'risida maxsus bo'limlarda to'xtalib o'tiladi. Biz quyidagi drosselni soddalashtirilgan shaklda keltiramiz (8.8-rasm). Bu holda bosimlari  $p_1$  va  $p_2$  bo'lgan bo'limlar teshik (yoki jikler deb ataluvchi tor bo'g'izcha) orqali tutashtirilgan bo'lib, birinchi bo'lmada bosim oshib ketganida suyuqlik ikkinchi bo'Imaga oqib o'tadi. Bu jarayon ikka bo'lmada bosim tenglashguncha davom etadi. Bunday qurilmalarda suyuqlik tezligi va sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$\vartheta = \varphi \sqrt{2g\Delta p/\gamma} = \varphi \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad (8.22)$$

$$Q = m\omega_T \sqrt{2g\Delta p/\gamma} = m\omega_T \sqrt{H_1 - H_2} \quad (8.23)$$

bu yerda  $\Delta p = p_1 - p_2$ ;  $\omega_T$  - teshikning kesim yuzi;  $H_1, H_2$  – birinchi va ikkinchi

kameralardagi bosimlar.

Birinchi bo'lmadan ikkinchi bo'Imaga suyuqlikning oqib o'tish vaqtini quyidagicha hisoblanishi mumkin:

$$t = \frac{2\omega_1\omega_2}{m\omega_T(\omega_1 + \omega_2)} \left( \sqrt{\frac{p_1}{\gamma}} - \sqrt{\frac{p_2}{\gamma}} \right) = \frac{2\omega_1\omega_2}{m\omega_T(\omega_1 + \omega_2)} \left( \sqrt{H_1} - \sqrt{H_2} \right) \quad (8.24)$$

bu yerda  $\omega_1, \omega_2$  – birinchi va ikkinchi bo'lmalarning ko'ndalang yuzi;  $\omega_1$  va  $\omega_2$  teng

bo'lganda  $S_1 = S_2 = S$  deb belgilab, (8.24) ni ushbu ko'rinishga keltirish mumkin:

$$t = \frac{\omega}{m\omega_T} \left( \sqrt{H_1} - \sqrt{H_2} \right)$$

(8.22), (8.23) va (8.24) formulalar gidravlikaga doir adabiyotlarda idishdagি suyuqlikning cho'ktirilgan teshik orqali oqib o'tish masalasi sifatida keltiriladi.

## Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma:

**Masala:** Yuqoridagi idishdan tushayotgan suv (sarfi  $Q = 0,6 \text{ l/s}$ ), idish tubidagi teshik orqali ( $d = 30 - 15 \text{ mm}$ ) pastki idishga tushmoqda va pastki idish tubidagi teshik orqali ( $d = 25 \text{ mm}$ ) 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:

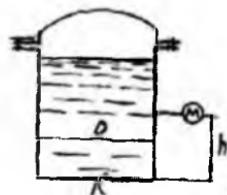
$$Q = \mu\omega_1 \sqrt{2gH_1};$$

$$Q = \mu\omega_1 \sqrt{2gH_2};$$

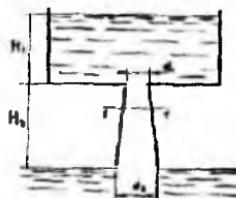
bu yerdan

$$H_1 = \frac{Q^2}{(\mu\omega_1)^2 2g} = 2,13 \text{ m};$$

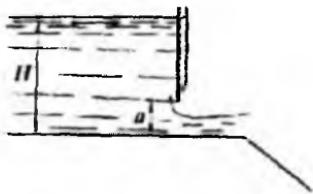
$$H_2 = \frac{Q^2}{(\mu\omega_2)^2 2g} = 0,76 \text{ m};$$



(8.10 - rasm).



(8.9-rasm).



(8.11-rasm)

### Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Suyuqlik diametri  $d = 10 \text{ mm}$  teshik orqali  $H = 3 \text{ m}$  dam (napor) ostida atmosferaga oqib chiqmoqda. Teshikdan oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang, agar

siqilish, tezlik va qarshilik koeffitsiyentlari quyidagicha bo'lsa:  $\varepsilon = 0,62$ ;  $\varphi = 0,97$   
 $\xi = 0,06$ .

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 diametrda 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  $H = 10$  m, naychaning sarf koeffitsiyenti  $\mu = 0,82$ . Naycha diametrini aniqlang

4. Suv yuqori rezervuardan pastki rezervuarga diametrlari  $d_1 = 150$  mm va  $d_2 = 200$  mm li tesyik va diffuzor orqali oqib o'tmoqda. Teshik va diffuzoring qarshilik koeffitsiyentlari:  $\xi_1 = 0,06$ ;  $\xi_2 = 0,03$ .

Agar 1-1 kesimdagi absolyut bosim nolga teng bo'lib,  $H_2 = 1.5$  m bo'lsa, yuqori rezervuardagi suv sathining balandligi  $- H_1$  nimaga teng bo'ladi (8.9- rasm)?

5. Eni  $b = 2,6$  m li tarnovdag'i 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:  $\varepsilon = 0,67$ ;  $\varphi = 0,97$  (8.11-rasm)

### VIII bob bo'yicha nazorat savollari

1. Suyuqliknинг yupqa devordagi teshikdan o'zgarmas bosimda oqishi
2. Siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari
3. Suyuqliknинг silindrik naychadan oqishi
4. Suyuqliklarning teshikdan o'zgaruvchan bosimda oqishi
5. Oqimcha texnikasi haqida tushuncha

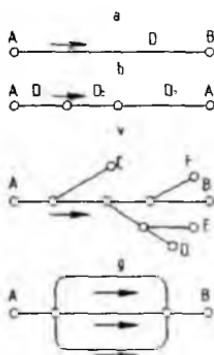
## IX BOB. QUVURLARNI GIDRAVLIK HISOBLASH

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'limgan va mahalliy qarshiliklari sezilarli bo'lib, umumiyligi 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 dvigatelerining moy o'tkazuvchi quvurlarini, gidrouzatmalardagi tutashtiruvchi quvurlar va hokazolarni keltirish mumkin.

Ancha uzoq masofaga cho'zilgan va gidravlik qarshiliklarda majmuida asosiy qismni ishqalanish qarshiliigi tashkil qilgan quvurlar uzun quvurlar deb ataladi. Bunday quvurlarda mahalliy qarshiliklar alohida hisoblanmaydi va ishqalanish qarshilligining 5 – 10% iga teng deb qabul qilinadi. Bularga vodoprovod quvurlari, neft va gazlarni tarqatuvchi quvurlar va boshqalar misol bo'ladi.



9.12-rasm.Quvurlarni klassifikasiyalashga doir chizma

Quvurlar ishslash sxemasiga qarab ikki turga bo'linadi *sodda quvurlar* (9.12-rasm, a, b); *murakkab quvurlar* (9.12-rasm v, g). Sodda quvurlar hech qanday tarmoqlarga ega bo'limgan 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.

Yuqorida aytilganlardan tashqari tranzit sarfli quvurlar ham mayjud bo'lib, ularda suyuqlik yo'l bo'yicha o'zgarmay qolishi yoki tekis taqsimlanib borishi mumkin.

### 9.1. Sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi

Quvurlarni hisoblashda biz Yuqorida keltirilgan ishqalanish va mahalliy qarshiliklar uchun chiqarilgan formulalardan foydalananamiz. Shuning uchun biz suyuqlik quvurda qaysi tartibda oqishini ham bilishimiz kerak.

Avvalo o'zgarmas diametrlı sodda quvur olamiz. Bunday quvur ketma-ket joylashgan bir qancha to'g'ri quvur bo'laklaridan tashkil topgan deb qarash mumkin. (9.13-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 foydalanimiz quyidagi

$$H = \lambda \frac{l_1}{D} \frac{g^2}{2g} + \zeta_1 \frac{g^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{D} \frac{g^2}{2g} + \zeta_2 \frac{g^2}{2g} + \dots + \lambda \frac{l_n}{D} \frac{g^2}{2g} + \zeta_n \frac{g^2}{2g}.$$

Munosabatni chiqaramiz. Bu formula bo'yicha bosimning pasayishini hisoblash murakkab va ko'p vaqtini 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 guruholab, quyidagini olamiz:

$$H = (l_1 + l_2 + \dots + l_n) \frac{\lambda}{D} \frac{g^2}{2g} + (\zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_n) \frac{g^2}{2g} = \lambda \sum \frac{l_i}{D} \frac{g^2}{2g} + \sum \zeta_i \frac{g^2}{2g} + \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i Q^2 + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \sum \zeta_i Q^2$$

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  $\alpha$  bilan belgilasak, u holda

$$H = \alpha Q^2. \quad (9.2)$$

O'lcov birligi s<sup>2</sup>m<sup>5</sup> bo'lgan *a* miqdor quvurning solishtirma qarshiligi deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} \sum l_i + \frac{8}{g\pi^2 D^4} \sum \zeta_i \quad (9.3)$$



### **9.13-rasm. Sodda quvurning sxemasi.**

$\alpha$  miqdor qurvning uzunligi, diametri, mahalliy qarshiliklar koeffitsiyentlariga bog'liq bo'lib, kvadrat qarshilik sohasida o'zgarmas bo'ladi.

(9.3) dagi birinchi hadning yig‘indi oldidagi miqdorini

$$\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} = A_s \frac{c^2}{m^6}$$

ko‘rinishda, ikkinchi hadning yig‘indi oldidagi miqdorni

$$\frac{8\lambda}{g\pi^2 D^4} = A_m \frac{c^2}{m^5}$$

ko'rinishda belgilaymiz va ularni o'zaro quyidagicha aytamiz  $A_I$  – solishtirma ishqalanish qarshiligi (ya'ni  $I_m$  quvurning ishqalanish qarshiligi) va  $A_m$  – solishtirma mahalliy qarshilik (quvurning shakli o'zgargan qismining  $\zeta = 1$  bo'lgandagi qarshiligi).

U holda

$$\alpha = A_e \sum I_i + A_m \sum \zeta_i$$

Bu yerda  $A_l$  va  $A_m$  – umumlashgan parametrlar bo‘lib, quvurlarni hisoblashda maxsus iadvallardan olinadi.

Bazi umumlashgan parametrlar bir oz boshqacharoq ko'rinishda olinadi. Bu holda mahalliy qarshilikni ekvivalent uzunlik bilan almashtirsak

$$H = \lambda \frac{l + l_{\text{env}}}{D} \frac{g^2}{2g} = \frac{8\lambda}{g\pi^2 D^5} (l + l_{\text{env}}) Q^2$$

hosil bo‘ladi. Oxirgi tenglikka

$$A = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda}}$$

belgilashni kiritamiz va uni quvurning sarf xarakteristikasi deb ataymiz. U holda

$$H = \frac{l + l_{ekv}}{A^2} Q^2 \quad (9.4)$$

Bu belgilashdan ko'rinish 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, (9.4) 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:

$$Q = K \sqrt{H} \quad (9.5)$$

va  $K$  ni sarf koefitsiyenti deb ataladi.

(9.5) va (9.4) bilan solishtirsak, sarf koefitsiyenti uchun ushbu munosabatni olamiz:

$$K = \frac{A}{\sqrt{l + l_{ekv}}} \quad (9.6)$$

uzun quvurlar uchun esa

$$K = \frac{A}{\sqrt{L}} \quad (9.7)$$

(9.5) formulani boshqacha ham yozish mumkin:

$$H = \frac{1}{K^2} Q^2 \quad (9.8)$$

bu holda  $\frac{1}{K^2} = \alpha$  bo'ladi. Suyuqlik kvadratik qonunga bo'ysunganda  $\lambda$  va  $\zeta$  Rey-nolds soniga bog'liq bo'limgan 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 diametrga bog‘liq.

Laminar soha uchun yuqoridagi formulalardagi quvurning qarshiligi  $\alpha$  va qarshilik koeffitsiyenti  $K$  (9.3) formula yordamida hisoblab topiladi. Bunda  $\lambda$  Puazeyl formulasi bo‘yicha hisoblanadi:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

8-jadval.

### Quvurlarni hisoblash uchun umumlashgan parametrlar

(kvadratik qarshilik qonuni uchun)

Quvuring ichki diametri, D, mm	Quvuring absolyut g‘adir-budurligi						$A_m \frac{c^2}{m^6}$	
	$\Delta = 0,2$ mm		$\Delta = 0,5$ mm		$\Delta = 1,0$ mm			
	$K^2 \frac{m^5}{c^2}$	$A, \frac{c^2}{m^6}$	$K^2 \frac{m^5}{c^2}$	$A_e \frac{c^2}{m^6}$	$K^2 \frac{m^5}{c^2}$	$A_l \frac{c^2}{m^6}$		
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  $\lambda$  (silliq quvurlar uchun) Blazius formulasi bo‘yicha hisoblanadi:

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

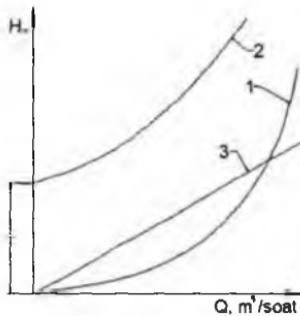
Quvurlarni hisoblashni osonlashtirish uchun (9.2) yoki (9.5) formula bo‘yicha jadval tuzib olish mumkin. U holda bosim pasayishining turli qiymatlariga tegishli sarf miqdorlarini shu jadvaldan olish mumkin bo‘ladi.

(9.2) tenglama (9.5) bilan birgalikda sodda quvurni hisoblashning asosiy tenglamasi deyiladi. Bu tenglama bosim va sarf orasidagi bog‘lanishni grafik

ko‘rinishda ifodalashga imkon beradi. Ko‘rinib turibdiki, bu grafik koordinatalar boshidan o‘tuvchi kvadratik parabola ko‘rinishida ifodalanadi (9.14-rasm, 1 grafik). Agar quvurning hisoblash tekisligidan qancha balandda joylashgan  $H_g$  ni hisobga olsak, u holda  $H$  va  $Q$  o‘rtasidagi munosabat koordinatalar boshidan  $H_g$  balandlikda joylashadi (9.14-rasm, 2 grafik). U holda umumiy bosim  $H$  va  $H_g$  ning yig‘indisidan iborat bo‘ladi:

$$H_y = H_g + H = H_g + \alpha Q^2 \quad (9.9)$$

Harakat laminar bo‘lsa, u holda  $H$  grafigi to‘g‘ri chiziqqa aylanadi (8.14-rasm, 3 grafik).



**9.14-rasm. Quvurning xarakteristikasi.**

$H - Q$  grafigi yordamida berilgan bosim uchun sarfni topish mumkin. Buning uchun ordinata o‘qidan berilgan bosimga tegishli kesmani olib, uning uchidan abstsissa o‘qiga parallel chiziq o‘tkazamiz. Bu chiziqning xarakteristikasi bilan kesishgan nuqtasidan abstsissa o‘qiga tushirilgan perpendikulyar undan quvurda berilgan bosimda sarfning miqdoriga to‘g‘ri keladigan kesma ajratadi. Agar quvurdan o‘tishi kerak bo‘lgan sarf ma’lum bo‘lib, bosimni topish kerak bo‘lsa, sarfni topish uchun qo‘llangan usulni teskari tartibda bajaramiz.

## 9.2. Quvurning iqtisodiy tejamli diametrini topish haqida tushuncha

Quvurlar sistemasini loyihalashda berilgan uzunlikdagi 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 koeffitsiyenti kamayib boradi, demak, shu sarfni ta’minlovchi bosim ham kamayadi. Bu o‘z navbatida suvni quvurdan oqizish uchun sarf bo‘ladigan energiyaning kamayishiga olib keladi, ya’ni suyuqlikni quvurdan haydovchi

nasos kamroq elektroenergiyasi sarflaydi. Ikkinchidan, quvur diametrining ortishi unga sarf bo‘ladigan kapital mablag‘ning ortishiga olib keladi (diametri katta quvurga ko‘proq metal sarf bo‘ladi). Shunday qilib, quvurning eng qulay diametrini tanlash masalasi texnik-iqtisodiy hisoblash, ya’ni quvurlar sistemasini yaratishga sarf bo‘ladigan mablag‘ (quvurlar, nasos stansiyasi va h.) ning qiymati va undan foydalanishdagi harajatlar (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 harajatlar va hokazolar kiradi. Quvurning yillik harajati  $M$  amortizatsiya  $A$  ekspluatatsiya  $E$  harajatlarning yig‘indisiga teng. Quvurning yillik harajatining minimal qiymatiga to‘g‘ri kelgan diametri eng tejamlili diametr  $D_{op}$  bo‘ladi.

9.15-rasmda  $A = f_1(D)$ ,  $E = f_2(D)$  va  $M = f_3(D)$  larning grafigini chizish yo‘li bilan  $D_{op}$  ni topish yo‘li ko‘rsatilgan. Agar  $D_{op}$  ikki standart diametri orasiga to‘g‘ri kelib qolsa, tegishli diametr uchun  $D_{op}$  ga eng yaqin standart diametr (iloji bo‘lsa ikki diametrning kichigi) olinadi. (9.15-rasmda eng tejamlili diametr uchun  $D_5$  ni olish kerak). Quvurning diametri  $D$  topilgandan keyin,  $Q$  va  $I$  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. Odatdagisi hisoblashlarda ko‘rilayotgan quvurga o‘xshash quvurlar uchun

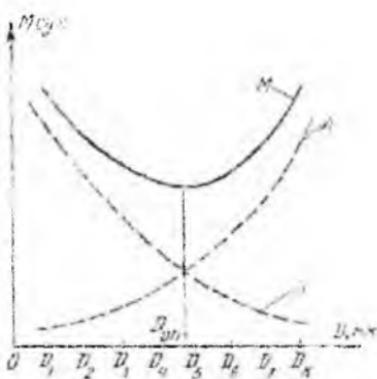
judu ko‘p texnik-iqtisodiy hisoblar davomida aniqlangan optimal tezlik  $\vartheta_{opt}$  yoki

optimal qiyalik  $I_{opt}$  ning qiymatini berish yo‘li bilan aniqlanadi. Suyuqlikning sarfini  $Q$  va  $V$  ma’lum bo‘lgan holda diametrini topish qiyin emas.

$$Q = g_{opt} \frac{\pi D^2}{4} \quad (9.10)$$

bundan

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_{opt}}}$$
(9.11)



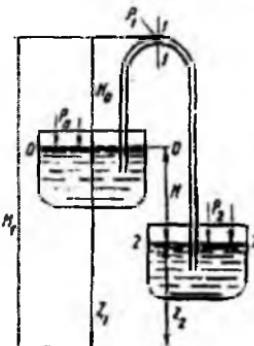
**9.15-rasm. Tejamli qulay diametrni hisoblashga oid chizma.**

Ba'zi hollarda taqrifiy hisoblash uchun sodda formulardan ham foydalanish mumkin. Quvurdagi bosimning katta-kichikligiga qarab turli materiallardan qilingan quvurlar ishlatish mumkin. Masalan, bosim  $1 \text{ MH/m}^2$  gacha bo'lganda vodoprovod quvurlari uchun cho'yan quvurlar, katta bosimlar uchun esa po'lat quvurlardan foydalilaniladi. Bundan shuni hisobga olish kerakki, GOST da cho'yan quvur uchun ichki diametr, po'lat quvur uchun esa tashqi diametr qabul qilingan.

### 9.3. Sifon quvur

Bir qismi suyuqlik bilan ta'minlovchi idishdan yuqorida joylashgan sodda quvur sifon quvur deb ataladi (9.16-rasm). Sifonni sodalashtirib ikki (ta'minlovchi va qabul qiluvchi) idishlarni tutashtiruvchi  $U$  ko'rinishdagi quvur sifatida tasvirlash mumkin. Bu holda uning egilgan qismi idishlardagi suyuqli sathlaridan  $H$  balanlikda 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’midotida ba’zan maxsus sifonlar ishlataladi. Sifon ishlay boshlashi uchun avval uni suyuqlik bilan to‘ldirish kerak. Sifon sifatida kichik o‘lchamli shlanglar ishlatsa, 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‘rnataliladi.



*9.16- 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

$$z_1 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{g_2^2}{2g} + h_{0-2} \quad (9.12)$$

bo‘ladi.  $p_0 = p_2 = p$  atm , va  $\vartheta_1 = \vartheta_2 = 0$  deb hisoblasak, bu tenglama quyidagicha

yoziladi:

$$z_1 = z_2 + h_{0-2} \quad (9.13)$$

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:

$$H = \alpha Q^2$$

(9.14)

Shunday qilib, sifonlarda sarf oddiy quvurlardagidek qarshilik va sathlar farqi orqali aniqlanadi. Uning ko'tarilishi balandligi  $H_0$  esa sarfga ta'sir qilmaydi. Lekin bu qonun  $H_0$  ning ma'lum chegarasigacha bo'ladi.  $H_0$  ning ortib borishi bilan sifonning yuqoridagi 1-1 kesimida absolyut bosim  $p_1$  kamayib boradi. Bu bosim to'yingan bug' bosimiga tenglashishi bilan kavitatsiya boshlanadi. Bu avval sarfnинг 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 tenglamarini yozamiz:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_0^2}{2g} = H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} + h_{0-1} \quad (9.15)$$

Agar tezliklar kichikligi uchun ularni nolga tenglasak:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - H_1 - h_{0-1} \quad (9.16)$$

bo'ladi. Bosimning mumkin bo'lgan minimum qiymati ma'lum bo'lsa,  $p_1$  ni unga tenglashtirib oxirgi tenglamadan  $H_1$  ni oshirish uchun yana bir usulni qo'llash mumkin. Buning uchun sifonning pastga ketgan uchida mahalliy qarshiliklar (eshikcha va h.) yordamida umumiylar qarshilikni oshirish kerak. Bu holda albatta sarf kamayadi.

#### 9.4. Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash

Ketma-ket va parallel ulangan quvurlarni hisoblash sodda quvurlarni hisoblashga qaraganda murakkab bo'lib, u qaysi tartibda ulanganiga bog'liq. Shuning uchun bu ikki ulash usulini alohida ko'rib chiqamiz.

**Ketma-ket ulash.** Bir necha har xil diametrali 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 (9.17-rasm).

Bu quvurlarning har birida sarflar teng bo'lishi uzilmaslik tenglamasidan ko'rindi. U holda quvurlardagi bosimning kamayishi (9.2) ga asosan aniqlanadi.

$$H_1 = \alpha_1 Q^2$$

$$H_2 = \alpha_2 Q^2$$

.....

.....

.....

$$H_n = \alpha_n Q^2$$

Ko‘rilayotgan quvurda esa qarshiliklarni qo‘shish printcipiga asosan quyidagicha hisoblanadi.

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_n = (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) Q^2. \quad (9.16)$$

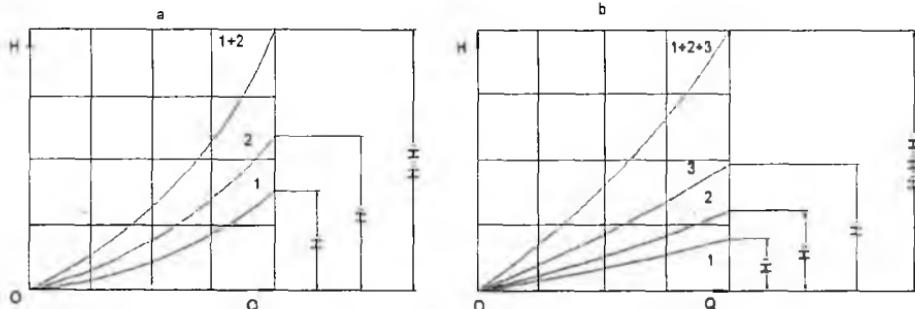
Shunday qilib, quvurlar ketma-ket ularganda umumiy qarshilik xususiy qarshiliklar yig‘indisidan iborat.

$$\alpha = \sum_1^n \alpha_n \quad (9.17)$$

Bu ikki (9.16) va (9.17) tenglama quvurlarni ketma-ket ularshda xarakteristika tuzish uchun asos bo‘ladi.

Avval ketma-ket ulangan ikkita quvurni ko‘ramiz. Bu quvurlarning xarakteristikalari 9.18-rasm, a da 1 va 2 grafiklar orqali ifodalangan. Ikki quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (9.16) 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 (9.18-rasm, b). So‘ngra bir xil abstsissada ularning ordinatalarini qo‘shib, bir chiziq bilan tutashtiramiz  $n$  ta ketma-ket ulangan quvurning umumiy xarakteristikasini tuzish ham shu usulda bajariladi. Ko‘rilayotgan holda kirishdagi va chiqishdagi tezlik bosimlari har xil bo‘lgani sababli, quvur uchun talab qilinadigan bosim formulasida (9.9) dan farqli ravishda, kirishdagi va chiqishdagi tezlik damlarining farqi qatnashadi:



**9.18 - rasm. Ketma-ket ulangan quvurlarning xarakteristikasi**

$$H = z_A - z_B + \frac{\alpha_A g_A^2 - \alpha_B g_B^2}{2g} + \sum H_i + \frac{P_B}{\gamma} = H_g + cQ^2 + \alpha Q^2 \quad (9.18)$$

bu yerda

$$c = \frac{1}{2g} \left( \frac{\alpha_A}{\omega_A^2} - \omega \frac{\alpha_B}{\omega_B^2} \right)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^s \alpha_i$$

$$H_g = z_A - z_B + \frac{P_B}{\gamma}$$

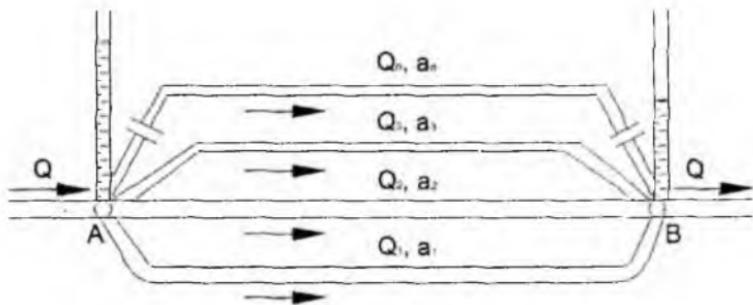
$\omega_A, \omega_B$  - kirish va chiqishdagi kesim yuzalari.

**Parallel ulash.** Endi bir qancha parallel ulangan sodda quvurlardan tashkil topgan murakkab quvurni ko'ramiz (8.19-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'rinish turbdiki, murakkab quvurning sarfi sodda quvurlarining yig'indisiga teng.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \sum Q_i. \quad (9.19)$$

Har bir sodda quvurdagi bosimning kamayishi ham, murakkab quvurdagi bosimning kamayishi ham  $A$  va  $B$  nuqtalardagi to'la bosimlarning ayirmasiga teng:

$$H_A - H_B = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n = H. \quad (9.20)$$



**9.19-rasm. Quvurlarni parallel ulash.**

Har bir quvurdagi bosimning kamayishi (9.2) ga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$H_1 = \alpha_1 Q_1^2$$

$$H_2 = \alpha_2 Q_2^2$$

.....

.....

.....

$$H_n = \alpha_n Q_n^2$$

Bularidan sarflarni topib, (9.19) ga qo'yamiz:

$$Q = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{H_3}}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{\sqrt{H_n}}{\sqrt{\alpha_n}}. \quad (9.21)$$

va (9.20) dan foydalanib, quyidagi munosabatni olamiz:

$$Q = \left( \frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right) \sqrt{H}. \quad (9.22.)$$

Bu tenglikdan murakkab quvur uchun bosim kamayishi tenglamasini chiqaramiz:

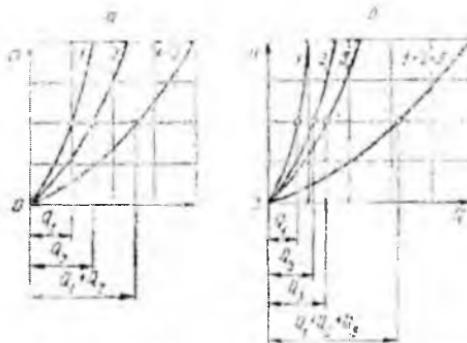
$$H = \frac{Q}{\left( \frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right)^2}. \quad (9.23)$$

Shunday qilib, parallel ulangan murakkab quvurning qarshiligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} \right)^2}. \quad (9.24)$$

Parallel ulangan quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (9.19) va (9.20) tenglamalardan foydalanamiz. Avval ikki parallel quvurdan iborat murakkab quvurni

ko‘ramiz (9.20-rasm, a) Parallel quvurlarning xarakteristikalari 1 va 2 grafiklar ko‘rinishida ifodalangan.



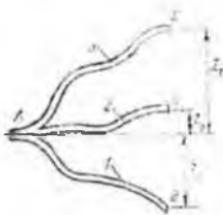
9.20-rasm. Parallel ulangan quvurlarning xarakteristikasi.

Murakkab quvurning xarakteristikasini hosil qilish uchun (9.20) ga asosan bosimning biror qiymatida birinchi va ikkinchi quvurlarda sarflarni qo‘shamiz, ya’ni ordinata o‘qining biror qiymatida 1 va 2 ga to‘g‘ri kelgan abstsissa o‘qining kesimlarini qo‘shamiz. Bu 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 quvuring xarakteristikasini tuzamiz. n ta parallel quvurdan tuzilgan murakkab quvuring xarakteristikasi ham xuddi shu usulda hosil qilinadi.

## 9.5. Murakkab quvurlar

Murakkab quvurlar quvurlar xilma-xil usullarda tutashtirilgan bo‘b, ular ketma-ket, parallel ulangan va tarmoqlarga ajralgan bo‘laklardan tashkil topgan bo‘ladi. Biz yuqorida ketma-ket va parallel ulangan quvurlardan tashkil topgan bo‘laklarni ko‘rdik. Endi quvurning tarmoqlangan bo‘lagini ko‘ramiz. Asosiy quvur A nuqtadan uchta 1, 2, 3 tarmoqlarga ajralsin (9.21-rasm). Ularning oxirgi nuqtalarining balandliklari z<sub>1</sub>, z<sub>2</sub>, z<sub>3</sub>, bosimlari p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, p<sub>3</sub>, sarflari Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub> bo‘lsin. U holda bu sarflarning yig‘indisi asosiy quvurdagi sarfga to‘g‘ri keladi:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



**9.21-rasm.Quvurlarning tarmoqlarga bo‘linishi.**

Har bir tarmoq uchun Bernulli tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{P_A}{\gamma} = z + \frac{P_1}{\gamma} + H_1$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + H_2$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + H_3$$

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 (9.2) formuladan foydalanib, quyidagi larni yozamiz:

$$H_A = z_1 + \alpha_1 Q_1^2; \quad H_A = z_2 + \alpha_2 Q_2^2; \quad H_A = z_3 + \alpha_3 Q_3^2 \quad (9.25)$$

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:

$$H_1 = \alpha_1 Q_1^2; \quad H_1 - z_{1-2} = \alpha_2 Q_2^2; \quad H_1 - z_{1-3} = \alpha_3 Q_3^2 \quad (9.26)$$

Bu tenglamalardan 1, 2, 3 quvurlardagi sarflarni topib va qo‘shib umumiy harjni topamiz:

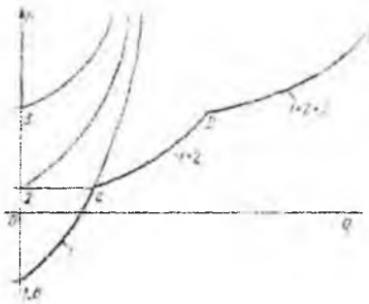
$$Q = \left( \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{H_1 - z_{1-2}}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{H_1 - z_{1-3}}}{\sqrt{\alpha_3}} \right) \quad (9.27)$$

yoki

$$Q = \left( \frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{1 - z'_{1-2}}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{1 - z'_{1-3}}}{\sqrt{\alpha_3}} \right) H_1 \quad (9.28)$$

bu yerda  $z'_{1-2} = \frac{z_1 - z_2}{H_1}$ ,  $z'_{1-3} = \frac{z_1 - z_3}{H_1}$  bo‘lib, ular uchun  $z'_{1-2} < 1$ ,  $z'_{1-3} < 1$  tengsizliklar o‘rinlidir.

Agar uchala quvurning ham ikkinchi uchi bir xil balandlikda bo‘lsa ( $z_1 = z_2 = z_3$ ), u holda  $z'_{1-2} = 0$ ;  $z'_{1-3} = 0$  va  $H_1, H_2, H_3$  lar teng bo‘ladi hamda sarf uchun quvurlar parallel ulangan hol uchun chiqarilgan munosabatini olamiz. Endi yuqorida keltirilgan formulalarga asosan tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika hosil qilish mumkin (9.22-rasm). Buning uchun ularning xarakteristikalarini quvurlarni parallel ulash dagi kabi qo‘shamiz. Natijada 9.22-rasmida tasvirlangandek siniq egri chiziq BSDE ni olamiz. Bu chiziq tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika bo‘lib, u 2 va BSDE ni olamiz.



### 9.22-rasm. Tarmoqlanga bo‘lingan quvurning xarakteristikasi.

Bu chiziq tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika bo‘lib, u 2 va 3 quvurlarning ikkinchi uchi balandligida C va D nuqtalarda sinadi. Agar suyuqlik A nuqtadan B, C, D nuqtalarga qarab emas, teskari yo‘nalishda oqsa unda 1, 2, 3 quvurlarning xarakteristikalarini (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. Bordiyu, 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, xarakteristikalarini yoki tenglamalarni tuzib olamiz. So‘ngra bu qismlarning har birini ayrim quvur sifatida qarab va parallel yoki ketma-ket

ulash qoidasidan foydalaniб sistema uchun xarakteristika yoki tenglama tuzamiz. Bu qoidaga asosan har qanday murakkab quvurlar sistemasini hisoblash mumkin.

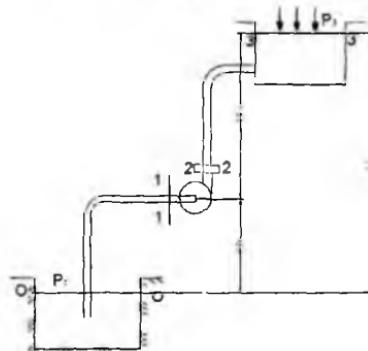
### 9.6. Nasosdan ta'minlanuvchi quvur

Yuqorida biz turli usulda ulangan quvurlar sistemasini ko'rdik, biroq ularning suv bilan ta'minlanishi qanday amalga oshirilishi haqida to'xtalib o'tmadik. Bunday hol balandlikka o'rnatilgan katta idishdan ta'minlanuvchi quvurlar sistemasi uchun yoki nasosdan ta'minlanuvchi sistemalarning qismlari uchun o'rinni. 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 sodda quvurlarni (9.23-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 (nagnetelnaya ili napornaya) quvuri deyiladi.

So'rish quvuri uchun ( $0 - 0$  va  $1 - 1$  kesimlar uchun ) Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{p_0}{\gamma} = H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \beta_1^2}{2g} + h_{0-1}$$



**9.23-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 kavitasiya hodisasini vujudga keltirmaydigan darajadagi chegirma bosim ( $p_1$ ) saqlanib qolsin. Bu nasoslarning so‘rish quvurlarini nihoyatda aniq va puxta hisoblash kerak. (9.29) tenglama so‘rish quvurlarini hisoblashda asosiy tenglama hisoblanadi. Bunda hal qilinishi kerak bo‘lgan masalalar sifatida quyidagilarni keltirish mumkin.

1) barcha o‘lchamlar va sarf berilgan. Suyuqlikning nasosga kirish oldidagi bosimni hisoblash kerak.

Bu masalani yechishda nasosga kirishdagi suyuqlik bosimini ( $p_1$ ) hisoblab, uni kavitasiya hosil qilmaydigan minimal bosim bilan taqqoslash yo‘li bilan bajariladi.

2) eng kichik (kavitasiya hosil qilmaydigan) joiz bosim berilgan. Boshqa parametrлarning 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.

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \theta_2^2}{2g} = H_2 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 \theta_3^2}{2g} + h_{2 \rightarrow 3} \quad (9.30)$$

Agar haydash quvurining ikkinchi uchidan biror idish bo‘lsa, u holda (9.30) tenglamaning o‘ng tomonida tezlik bosim bo‘lmaydi, lekin bunday harakat vaqtida bosimning kengayishga sarf bo‘lishini hisobga olish kerak. (9.30) tenglamaning chap tomoni nasosdan chiqishdagi solishtirma energiyani ko‘rsatadi. Nasosga kirishdagi solishtirma energiyani (9.29) tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \theta_1^2}{2g} = \frac{p_0}{\gamma} - H_1 - h_{0 \rightarrow 1} \quad (9.31)$$

Bu oxirgi tenglama va (9.30) dan foydalab 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,  $H_{\text{nas}}$  ko‘rinishida belgilanadi va quyidagicha hisoblanadi:

$$H_{\text{noc}} = \left( \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} \right) - \left( \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} \right) = H_1 + H_3 + \frac{p_3 - p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_3 g_3^2}{2g} + h_{0-1} + h_{2-3}$$

yoki

$$H_{\text{noc}} = H_g + \frac{p_3 - p_0}{\gamma} + cQ^2 + \alpha Q^2 \quad (9.32)$$

bu yerda  $H_g$  - suyuqlikning pastki sathdan yuqori sathga ko'tarilish balandligi;  $sQ^2$  – yuqori sathdagi tezlik bosimi;  $\alpha Q^2$  – so'rish va haydash quvurlardagi qarshiliklar yig'indisi;  $H_3$  – yuqori sathdagi tezlik. Agar pastki va yuqori sathlardagi bosimlar  $p_0$  va  $p_3$  atmosfera bosimiga teng bo'lsa, u holda

$$H_{\text{noc}} = H_g + cQ^2 + \alpha Q^2 = H_g + \frac{\alpha_3 g_3^2}{2g} + \alpha Q^2$$

bo'ladi. Bu formuladan ko'rinaridiki, suyuqlikka nasosning bergan bosimi suyuqlikni yuqori sathda harakat qildirish uchun zarur bo'lgan bosim  $H_3$  ga teng bo'ladi:

$$H_{\text{noc}} = H_3. \quad (9.33)$$

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 (9.32) formula o'rniда quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$H_{\text{noc}} = H = \frac{p_3 - p_1}{\gamma} = H_3.$$

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.

## 9.7. Elektrogidravlik o'xshashlik (analogiya) haqida tushuncha

Biz yuqorida quvurlarni hisoblash uchun (9.4) va (9.5) tenglamalarni chiqardik va ularni quyidagi ko'rinishlarda ifodaladik:

$$H = \lambda \frac{8(l + l_{\text{ekv}})}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad (9.34)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda(l + l_{\text{ekv}})}} H. \quad (9.35)$$

Laminar harakat vaqtida bu formulalarda qovushoqlik ishqalanish koeffitsiyenti  $\lambda$  quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64\nu}{gD} = \frac{16\nu\pi D}{Q},$$

u holda

$$H = \frac{128\nu}{gD^2} = \frac{l + l_{e3kv}}{\pi D^2} Q$$

yoki

$$H = \alpha \frac{L}{\omega} Q = BQ \quad (9.36)$$

bu yerda  $L = l + l_{e3kv}$ ;  $\omega = \frac{\pi D}{4}$ ;  $\alpha = \frac{32\nu}{gD^2}$ .

B - hisoblash yo‘li bilan aniqlanadigan koeffitsiyent. (9.36) tenglama fizikaning elektr bo‘limida o‘tkazgichlarning bir qismi uchun Om qonuniga juda o‘xshab ketadi. Agar bosim  $H$  ni kuchlanish  $U$  ga,  $\alpha$  ni solishtirma qarshilik  $\rho$  ga, sarf  $Q$  ni tok kuchi  $I$  ga qiyoslasak, u holda (9.36) ni Om qonuni

$$U = \rho \frac{L}{S} I = RI \quad (9.37)$$

ga qiyoslash mumkin.

(9.36) bilan (9.37) ning o‘xshashligidan foydalaniib elektrogidravlik o‘xshashlikni tuzish mumkin. Bu o‘xshashlikka asosan o‘tkazgichlardan tok o‘tkazib, uning kuchlanishi  $U$  ni voltemetr va tok kuchi  $I$  ni ampermetr yordamida aniqlash mumkin. Bunda voltmetr quvurlardagi difmanometrni, ampermetr esa sarf o‘lchash asbobi o‘rnini bosadi (9.24-rasm). Tok manbai sifatida esa energiya manbai nasosni ifodalash mumkin.

9.24-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 (9.24-rasm) va parallel (9.25-rasm) ulashni o‘tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash bilan taqqoslash mumkin. Quvurlarni ketma-ket ulashda (9.24-rasm) umumiy qarshilik.

$$H_k = B_k Q$$

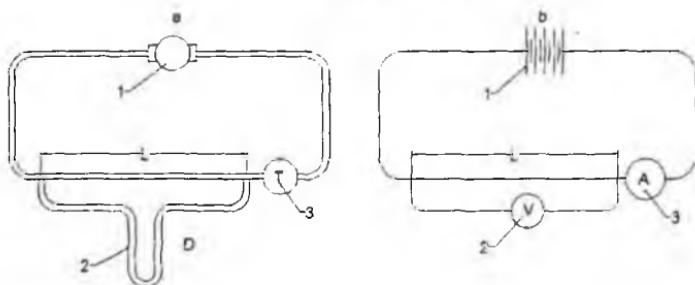
$$H_k = H_1 + H_2 + H_3 \quad (9.38)$$

va

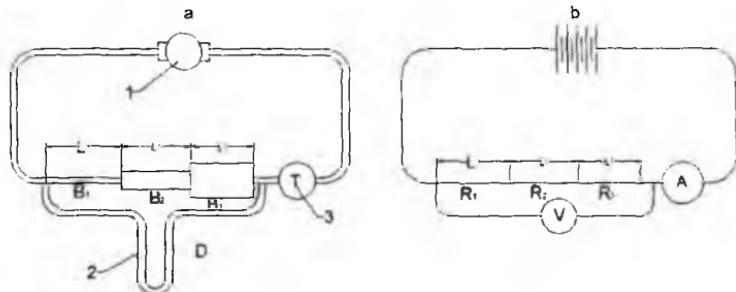
$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

bo'lib, (9.38) da

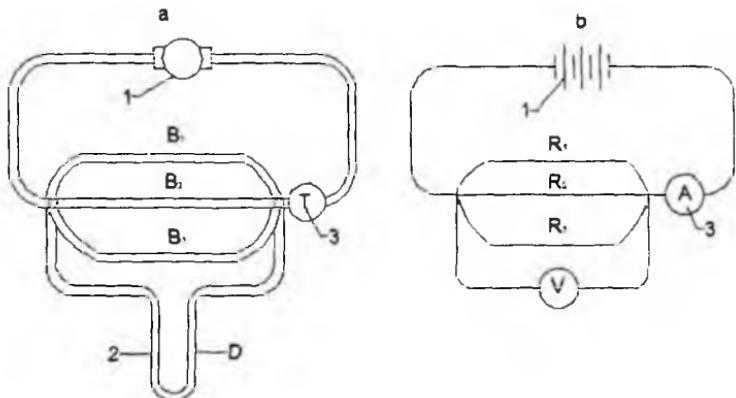
$$B_k = B_1 + B_2 + B_3$$



9.24.-rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni ketma-ket ulashda o'xshashlik.



9.25-rasm. Suyuqlik va tok o'tkazgichlarda o'xshashlikka doir chizma.



9.26-rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni parallel ulashdagi o'xshashlik.

O'tkazgichlar uchun esa

$$\begin{aligned}U_k &= R_k \\U_k &= U_1 + U_2 + U_3\end{aligned}\quad (9.39)$$

va

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

bo'lib, (9.39) da

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3$$

Quvurlarni parallel ulashda esa (1.99-rasm) umumiy qarshilik

$$\begin{aligned}H &= B_n Q_n \\H &= H_1 = H_2 = H_3\end{aligned}\quad (9.40)$$

va

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

bo'lib, (9.40) da

$$\frac{1}{B_n} = \frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{1}{B_3}$$

O'tkazgichlar uchun esa

$$\begin{aligned}U &= R_n I_n \\U &= U_1 = U_2 = U_3\end{aligned}\quad (9.41)$$

va

$$\frac{1}{I_n} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3}$$

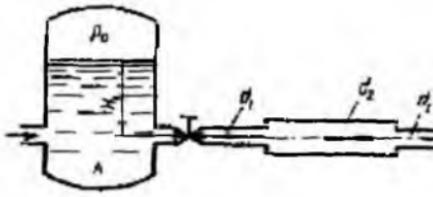
bo'lib, (9.41) da

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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 sarfming miqdorini aniqlash lozim bo'lsin (9.27-rasm).



9.27-rasm.

Quvurlarning diametrlari, uzunligi va materiali ( $\Delta; \lambda$ ) ma'lum bo'lib, quyidagi qiymatlarga ega bo'lsin:

$$d_1 = 150 \text{ mm}; d_2 = 200 \text{ mm}; d_3 = 250 \text{ mm}; l_1 = 20 \text{ m} l_2 = l_3 = 15 \text{ m}; \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,02 \\ H = 3,0 \text{ m};$$

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-Veysbak formulasi bo'yicha:

$$\sum h_e = h_1 + h_2 + h_3 = \frac{\lambda_1 V_1^2}{d_1 2g} + \frac{\lambda_2 V_2^2}{d_2 2g} + \frac{\lambda_3 V_3^2}{d_3 2g}$$

Uzilmaslik tenglamarasidan

$$V_1\omega_1 = V_2\omega_2 = V_3\omega_3$$

$$\xi_1 = \frac{\omega_3}{\omega_1} V_3; V_2 = \frac{\omega_3}{\omega_1} V_3 \text{ ekanligidan foydalanib, hamda } V_3 = V_2$$

$$\sum h_e = \left[ \frac{\lambda_1 J_1}{d_1} \left( \frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\lambda_2 J_2}{d_2} \left( \frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 + \frac{\lambda_3 J_3}{d_3} \right] \frac{V_2^2}{2g} \quad (3)$$

yoki

$$\sum h_e = \xi_1 \frac{V_2^2}{2g}$$

Mahalliy qarshiliklarda damning yo'qolishi ko'rيلayotgan misolda, quyidagi joylarda sodir bo'ladi: quvurning kirish qismida – ( $\xi_1$ ); keskin kengayishda – ( $\xi_2$ ); keskin torayishda – ( $\xi_3$ ); berkitgichda – ( $\xi_4$ ).

U holda

$$\sum h_M = \xi_1 \frac{V_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{V_2^2}{2g} + \xi_3 \frac{V_3^2}{2g} + \xi_4 \frac{V_4^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamarasidan 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

$$\sum h_M = \xi_M \frac{V_2^2}{2g}$$

Jadvaldan mahalliy qarshilik qiymatlarini olib,  $\xi_M$  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:  $\xi_s$  – 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  $\varphi$  – tezlik koeffitsiyenti.

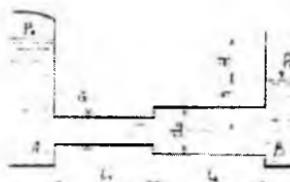
U holda quvurlar tizimi orqali oqib chiqayotgan sarf

$$Q = \mu \omega_3 \sqrt{2gH} = 0,17 \cdot \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

bu yerda  $\mu$  – 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).



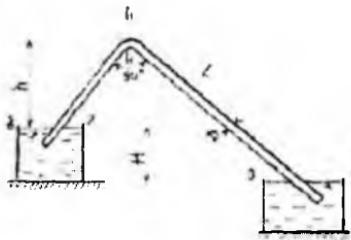
9.28-rasm.

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 (9.29-rasm).



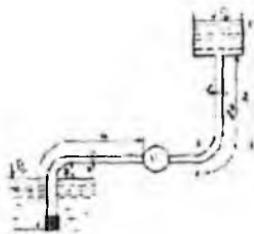
**9.29-rasm.**

3. Magistral kanaldan novga harorati  $t = 20^\circ\text{C}$  suv po'lat sifon orqali uzatiladi. Sifonning diametri  $D = 30 \text{ mm}$ : uzunligi  $m$  m, sarfi  $Q = 0,5 \text{ l/s}$ ,  $h = 4,0 \text{ m}$  bo'lsa, kanal va novdag'i suvlar sathining farqini aniqlang (9.30-rasm).

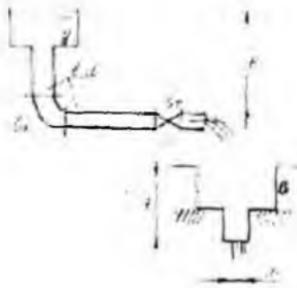


**9.30-rasm.**

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  $x-x$  kesimdag'i bosim  $P_x = 0,2 \text{ mPa}$  bo'lsa quvurdagi suv sarfini aniqlang (9.31-rasm).



**9.31-rasm.**



**9.32-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 (sarfi koeffitsiyenti  $\mu = 0,82$ ) atmosferaga oqib chiqmoqda. Agar B-rezervuardagi suyuqlik sathi  $h = 2,0 \text{ m}$  bo'lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti  $\lambda = 0,03$ ; burilish va jo'mrakning qarshilik koeffitsiyentlari:  $\xi_1 = 0,4$ ;  $\xi_2 = 3,0$  bo'lsa, A-rezervuarda qanday dam (napor)  $H$  bo'lishi kerak (9.32-rasm).

#### **IX 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

## X BOB. GIDRAVLIKANING ALOHIDA MASALALARI (MAXSUS KURS) SUYUQLIKNING BEQAROR HARAKATI

Suyuqliklar harakat qilayotgan vaqtida uning tezligi va bosimi, odatda, vaqtga bog'liq bo'lib, bunday harakatni beqaror harakat deb atagan edik. Xususiy holda vaqt o'tishi bilan harakat barqarorlashib tezlik va bosim vaqtga bog'liq bo'lmay qoladi. Yuqorida ko'rib o'tilgan suyuqlikning quvurlardagi harakatlari va teshiklardan oqishiga ko'rilgan misollar barqaror harakatlarning asosiy masalalari qatoriga kiradi. Lekin har qanday harakat holatini o'zgarishi beqaror harakatni vujudga keltiradi. Bir harakat holatidan ikkinchisiga o'tish asta-sekin yoki keskin o'zgarish bilan sodir bo'lishi mumkin. Masalan, biror idishdagi suyuqlik teshik orqali oqqanda vaqt davomida bosimning o'zgarib borishi natijasida tezlik va sarfning ham o'zgarishi harakat holatining asta-sekin o'zgarib borishiga misol bo'lsa, quvurlarda jo'mraklarni yoki o'zanlarda to'siqlarning keskin ochib-yopilishi vaqtidagi o'zgarishi harakat holatining keskin o'zgarishiga misol bo'ladi. Bunday harakat vaqtida inertsiya kuchlari asta-sekin yoki keskin o'zgarib boradi. Barqaror harakat vaqtida esa inertsiya kuchining o'zgarishi sezilarsiz bo'lib, harakat holatiga deyarli ta'sir qilmaydi. Shuning uchun barqaror harakat bilan beqaror harakatni nazariy tekshirish birinchi holda inertsiya kuchining o'zgarishi hisobga olinmasligi ikkinchi holda bu o'zgarish hisobga olinishi bilan farqlanadi.

Ideal va real suyuqliklar barqaror harakatining umumiy tenglamalari (3.25) va (3.28) ko'rinishda yoziladi. Turbulent harakat uchun esa (3.28) tenglama umumlashtirib hosil bo'lgan tenglamani Reynolds tenglamasi deyiladi.

Barqaror harakat uchun uzilmaslik tenglamasi bo'yicha oqimchani ixtiyoriy ikki kesimidagi sarflari o'zar teng ekanligi ko'rsatilgan edi. Barqaror harakat uchun esa bu qonun vaqtning biror aniq qiymatida to'g'ri bo'lib, vaqt o'tishi bilan tezlik o'zgarganidek, sarf ham o'zgarib boradi. Shuningdek, vaqt davomida oqim chizig'i ham, elementar oqimcha ham o'zgarib boradi. Bu holda 10.1-rasmda tasvirlangan sxema elementar oqimchaning biror aniq vaqtidagi holatiga to'g'ri keladi deb hisoblaymiz. Agar 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi masofa cheksiz kichrayib borib, d/l uzunlikni qabul qilsa, u holda (3.12) tenglamani quyidagicha yoza olamiz.

$$q_1 - q_2 = 0 \text{ yoki } dq = 0 \quad (10.1)$$

Bu tenglamada chap tomondagi ifoda sarfdan olingan to‘liq diferentsial bo‘lib,  $q$  vaqt va yo‘l bo‘yicha o‘zgarib borgani uchun, matematikada quyidagicha ifodalanadi.

$$\frac{\partial q}{\partial t} dt + \frac{\partial q}{\partial l} dl = 0. \quad (10.2.)$$

Hosil bo‘lgan tenglamaning ikki tomoni  $dt$  ga bo‘lamiz va tezlikning ta’rifidan  $u = \frac{dl}{dt}$  ekanligini hisobga olib, ushbu ko‘rinishda yozamiz:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial l} = 0. \quad (10.3.)$$

Bu hosil qilingan tenglama beqaror harakat elementlar oqimchasi uchun uzilmaslik tenglamasidir. Barqaror harakatdagi kabi beqaror harakat uchun ham oqimning uzulmaslik tenglamasini yozish mumkin:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial Q}{\partial l} = 0. \quad (10.4)$$

Beqaror harakatni tekshirish juda murakkab bo‘lib, biz ikki soddalashtirilgan xususiy hol ustida to‘xtalib o‘tamiz.

1) deformatsiyalanmaydigan quvurdagi siqilmaydigan suyuqlikning harakati. Bu holda harakat holati asta-sekin o‘zgarib borishi 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‘zgarmasligi bilan ifodalanadi. Beqaror harakatining umumiylar masalalari yechish shu turdag'i harakatlarga bag‘ishlangan maxsus kurslarda ko‘rilib, ko‘p hollarda (3.25), (3.28) yoki Reynolds tenglamalar sistemalarini yechish bilan bog‘liq.

## **10.1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsiya 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:

$$d\left(\frac{mu^2}{2}\right) = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl \quad (10.5)$$

Barqaror harakatda elementlar oqimchani ifodalovchi 9.1-rasmdagi sxema beqaror harakat uchun elementlar oqimchaning biror aniq vaqtdagi holatni ifodalanin. Bu rasmdagi 1-1 va 2-2 kesimlar orasida masofani cheksiz kichraytirib borib,  $dl$  ga intiltirsak, (3.39) tenglama yuqoridagi oxirgi munosabatni hisobga olgan holda quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl = \sum P dl \quad (10.6)$$

Siqilmaydigan suyuqlik uchun massa o'zgarmas bo'lgani sababli oxirgi tenglik ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$m\left[\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{u^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{u^2}{2}\right)dl\right] = \sum P dl \quad (10.7)$$

tenglamaning ikki tomonini  $dt$  ga bo'lamiz va  $\frac{\partial l}{\partial t} = u$  ekanligini nazoratga olsak

$$mu\frac{\partial u}{\partial t} + mu\frac{\partial u}{\partial l}u = \sum P u$$

yoki

$$m\frac{\partial u}{\partial t} + mu\frac{\partial u}{\partial l} = \sum P \quad (10.8)$$

bo'ladi. 3.41 tenglamaga asosan

$$m = \rho q dt \quad (10.9)$$

(3.41) ga asosan 1-1 va 2-2 kesimlarga ta'sir qiluvchi bosim kuchlari bajargan ishlarning yig'indisi

$$A_1 - A_2 = (p_1 - p_2)gd t$$

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

$$A_1 - A_2 = -\frac{dp}{dl}qdl dt \quad (10.10)$$

suyuqlikning 1-1 kesimdan 2-2 kesimga o'tishida og'irlik kuchining bajargan ishi

$$A_3 = Q(z_1 - z_2) = \gamma q dt(z_1 - z_2) \quad (10.11)$$

yoki

$$A_3 = -\gamma q dt dz = -\gamma \frac{dz}{dl} l dl dt$$

ko‘rinishda ifodalanadi.

Endi (10.9), (10.10) va (10.11) munosabatlarni hisobga olgan holda (10.7) tenglamani quyidagicha yoza olamiz:

$$\rho q dt \left[ \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{u^2}{2} \right) dt + \frac{\partial}{\partial l} \left( \frac{u^2}{2} \right) dl \right] = -\frac{\partial p}{\partial l} q dl dt - \gamma \frac{dz}{dl} q dl dt$$

Bu tenglama (10.8) 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 differentials ko‘rinishda olamiz:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \left( \frac{u^2}{2g} \right) + \frac{1}{\gamma} \frac{dp}{dl} + \frac{dz}{dl} = 0 \quad (10.12)$$

Bu tenglamani oralaridagi masofa chekli  $l$  ga teng bo‘lgan ikki kesim uchun integrallassak

$$\int_{u_1}^{u_2} \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} dl + \int_{z_1}^{z_2} d \left( \frac{u^2}{2g} \right) + \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} + \int_{z_1}^{z_2} dz = 0$$

va hosil bo‘lgan tenglamani chekli oraliqdagi kesimlar uchun yozsak, u holda beqaror harakat uchun Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{1}{g} \int_{u_1}^{u_2} \frac{\partial u}{\partial t} dl$$

Bu tenglamaning o‘ng tomonidagi integral inertsiya bosimi deb ataluvchi miqdordir:

$$h_m = \frac{l}{g},$$

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:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + h_m \quad (10.14)$$

Bernulli tenglamasini oqim uchun yozsak, u holda tezlikning qiymatlarini uning o‘rtacha qiymatlari bilan almashtirib yozamiz

$$\frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_m \quad (10.15)$$

Beqaror harakatning Bernulli tenglamasini real suyuqliklar uchun ushbu ko‘rinishda yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{n-2} + h_n \quad (10.16)$$

Shuni nazarda tutish kerakki,  $h_m$  ni birinchi va ikkinchi kesimlardagi inertsiya 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 inertsiya qarshiligiga bo‘lgan sarfni hisoblab yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h + \sum h_m \quad (10.17)$$

Inertsiya 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, gidrouzatzkich va gidrouzatmalarda esa porshenlar harakati vaqtida hosil bo‘ladigan o‘zgarishlar ham inertsiya 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 I-I kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi quyidagicha bo‘ladi.

$$\frac{p_o}{\gamma} + z_0 = \frac{g^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} + \frac{j}{g} l \quad (10.18)$$

Quvurdagi 2-2 kesim bilan ikkinchi idishdagi suyuqlik sathi 3-3 kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi esa quyidagicha yoziladi:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \lambda \frac{l \cdot g^2}{D \cdot 2g} + \frac{j}{g} l \quad (10.19)$$

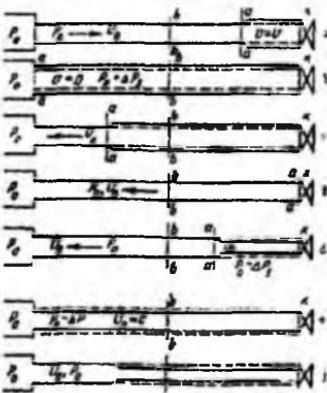
Bu yerda inertsiya bosimi porshenning musbat yoki manfiy tezlikni oshiruvchi yoki susaytiruvchi yo'nalishda harakat qilishiga qarab musbat yoki manfiy ishora bilan olinadi.

## 10.2. Gidravlik zarba hodisasi

Quvurlarda gidravlik zarba hodisasi deformatsiyalanuvchi quvurlardagi kam siqiluvchi suyuqlikning tezligi yoki bosimi keskin o'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'liqidir.

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  $V_o$  tezlik va  $p_o$  bosim bilan harakat qilayotgan quvurning oxiridagi kran jo'mrak "J" bir onda yopilsin deylik (10.1-rasm, a). U holda kranga (yopilgandan so'ng) birinchi yetib kelgan suyuqlik zarrachalarning tezligi so'nib ularning kinetik energiyalari quvur devorlarining va suyuqlikni deformatsiyalaish 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  $\Delta p$ , ni vujudga keltiradi. Shunday qilib, jo'mrak oldida hosil bo'lган  $\Delta p$ , qo'shimcha bosimga mos ravishda quvur devorlari cho'zilib, suyuqlik siqiladi. Jo'mrak oldida to'xtatilgan suyuqlik zarrachalariga qo'shni bo'lган 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'lqinining tezligi deb ataluvchi  $a$  tezlik bilan siljib boradi. Bosimi  $\Delta p_3$  ga o'zgargan sohaning o'zi esa zarba to'lqini deb ataladi. Bu to'lqin idishga yetib borganda esa, suyuqlik butun quvur bo'yicha to'xtagan va siqilgan bo'lib, quvur devorlari esa butunlay cho'zilgan bo'ladi. Bosimning zorbali ortishi  $\Delta p$ , esa quvur bo'yicha butunlay tarqalgan bo'ladi. (10.1-rasm, b). Lekin

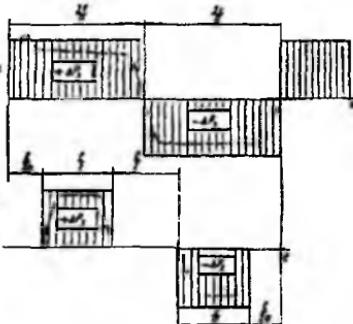
quvurdagi suyuqlik teng vaznli holatda bo'lmaydi. Bosimlar farqi  $\Delta p$ , ta'sirida suyuqlik quvurdan idishga oqa boshlaydi. Bu oqim idishning bevosita oldida turgan zarrachalardan boshlanib, uning chegarasi ( $a-a$  kesim, teskari yo'naliishda) kran tomonga  $a$  tezlik bilan harakat qiladi va ketida tiklangan  $p_0$  bosimli  $V_o$  tezlikka ega suyuqlik oqimini qoldiradi (10.1-rasm, v). Suyuqlik va quvur devorlari elastik deb qaralib,  $p_0$  bosimi tiklanishi bilan o'z holiga qaytadi. Deformatsiya ishi qayta kinetik energiyaga aylanib, suyuqlik yana avvalgi  $V_o$  tezligiga ega bo'ladi va teskari yo'naliishda oqa boshlaydi. Suyuqlik ustuni ana shu tezlik bilan oqishda davom etib, jo'mrakdan uzilishga intiladi (10.1-rasm, g). Natijada krandan idishga  $a$  tezlik bilan harakat qiluvchi manfiy zarba to'lqini vujudga keladi va u bosimni  $p_0$  ga kamaytirib, quvur devorini toraytirib, suyuqlikni kengaytiradi (10.1-rasm, d). Suyuqlikning kinetik energiyasi esa yana deformatsiya ishiga aylanadi, lekin bu ish endi manfiy bo'ladi. Bu harakat davom etib borib, manfiy zarba to'lqini ham idishgacha yetib keladi (10.1-rasm, e). Musbat zarba to'lqinidagi kabi bu holat ham teng vaznli bo'lmaydi va natijada quvurda yana bosim tiklana boshlaydi, suyuqlik esa  $V_o$  tezlikka erishadi (10.1-rasm, j). Idishdan qaytgan zarba to'lqini jo'mrakka yetib borishi bilan jo'mrak yopilgandagiga o'xshash hodisa yana vujudga keladi. Shundan so'ng butun sikl takrorlanadi.



**10.1 rasm. Gidravlik zarba hodisasini tushuntirishga doir chizma**

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  $\Delta p$ , kamayib borgan. Gidravlik zarbaning vaqt davomida o'tishi 9.2-rasmida diagramma ko'rinishida tasvirlangan (10.2-rasmida a) diagrammada

jo'mrak bir onda yopilgan deb qarab, jo'mrakning oldidagi  $k$  nuqtadagi bosimning nazariyadagi o'zgarishi  $\Delta p$ , tutash chiziq bilan tasvirlangan. Quvurning o'rtasidagi  $v$  nuqtaga zarba bosimi  $\frac{1}{2a}$  vaqtga kechikib keladi va to'lqinning bu nuqtadan idishga borib qaytib kelgunicha, ya'ni  $\frac{1}{2a}$  vaqt saqlanib turadi. So'ng  $v$  nuqtada bosim  $p_0$  ga tiklanadi (ya'ni  $\Delta p_3 = 0$ ) va shu holda teskari to'lqin yetib kelguncha,  $\frac{1}{d}$  vaqt saqlanadi (10.2-rasm, b).



### **10.2-rasm. Gidravlik zARBADA BOSIMNING VAQT DAVOMIDA O'ZGARISHI**

Bu haqiqiy bosim grafigi emas. Bundan tashqari, tebranish so'nib boradi, ya'ni uning amplitudasi energiyaning sarf bo'lish hisobiga kamayib boradi.

### **10.3. TO'G'RI ZARBА UCHUN N. E. JUKOVSKIY FORMULASI**

Gidravlik zarba vaqtida bo'ladigan o'zgarishlarni va zarba kuchini hisobga olish uchun zarba bosimi  $\Delta p$  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  $dt$  vaqtida siljishini ko'ramiz (10.3-rasm). Buning uchun biror vaqtida quvurdagi suyuqlikning jo'mrak oldidagi  $\Delta t$  bo'lagi zarba ta'sirida siqilgan bo'lsin. U holda suyuqlikka idish tomonidan  $P_i = p_0 \omega$  bosim kuchini, kran tomonidan esa  $P_2 = (\rho_0 + \Delta p_3) \omega$  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

$\rho\omega Qdx$  bo‘ladi. Shunday qilib, ko‘rilayotgan holda harakat miqdorining o‘zgarishi haqidagi teorema qo‘llanganda muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$(p_0 + \Delta p_1)\omega dt - d_0\omega dt = \rho\omega g_0 dx \quad (10.20)$$

Bu tenglikdan

$$\Delta p_1\omega dt = \rho\omega g_0 dx$$

Yoki

$$\Delta p_1 = \rho g_0 \frac{dx}{dt} \quad (10.21)$$

Bu yerda zarba to‘lqinining tarqalish tezligi.

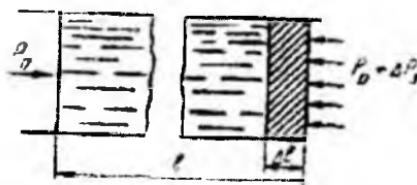
$$\alpha = \frac{dx}{dt} \quad (10.22)$$

dan iborat va oxirgi tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p_1 = \rho V_o \alpha \quad (10.23)$$

Bu formula N. E. Jukovskiy formulasidir. Undan ko‘rinadiki, gidravlik zarba bosimi suyuqlikning zichligi, tezligi va shu suyuqlikda to‘lqin tarqalishi tezligiga proportsional bo‘lib, ularning ko‘paytmasiga teng. Agar suyuqlikda to‘lqin tarqalish tezligini aniqlasak, tezlikni o‘lchab (zichlik jadvallardan ma’lum), (10.23) formula yordamida zarba bosimini topa olamiz. Shuni aytish kerakki,  $\alpha$  suyuqlikning va quvurning elastiklik xossalariiga 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:

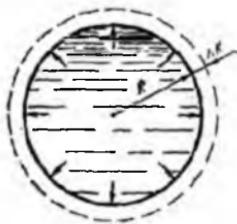
$$\frac{m g_0^2}{2} = \frac{1}{2} \pi R^2 l \rho g_0^2 \quad (10.24)$$



### 10.3 rasm. Gidravlik zarba uchun N.E. Jukovskiy formulasini chiqarishga doir chizma

Quvurni deformatsiyalashga ketgan ish  $A_1$  kuchning cho‘zilishga ko‘paytmasining yarmiga teng. Deformatsiya ishini zarba kuchining  $\Delta R$  (10.4-rasm) yo‘lga sarf bo‘lgan ish sifatida topamiz:

$$A_1 = \frac{1}{2} \Delta p_3 2\pi R l \Delta R \quad (10.25)$$



#### 10.4 rasm. Gidravlik zarba vaqtida quvur devorining cho'zilishi

Guk qonuniga asosan

$$\sigma = E \frac{\Delta R}{R} \quad (10.26)$$

Bu yerda  $\sigma$ -quvur devoridagi normal zo'riqish, u quvurning qalinligi  $\sigma$  va zarba kuchi  $\Delta p_3$  bilan quyidagicha bog'langan:

$$\sigma = \frac{\Delta p_3}{\delta} R \quad (10.27)$$

Bu munosabatlardan foydalanib quvurni deformatsiyalash ishini quyidagicha yozamiz:

$$A_1 = \frac{\Delta p_3^2 \pi R^3 l}{\delta E} \quad (10.28)$$

Endi quvurdagi suyuqlikni  $\Delta l$  masofadagi (9.3-rasm) siqish ishi  $A_2$  ni topamiz. Bunda

siqilgan suyuqlik sarfi  $\omega \Delta l$  desak,

$$A_2 = \frac{1}{2} \omega \Delta l \Delta p_3 = \frac{\pi R^2}{2} \Delta l \Delta p_3 \quad (10.29)$$

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

$$A_2 = \frac{1}{2} \frac{\Delta p_3^2 \pi R^3 l}{K} \quad (10.30)$$

Kinetik energiya  $A_1$ , va  $A_2$  ishlarning yig'indisiga teng, ya'ni

$$\frac{1}{2} \pi R^2 \rho g_0^2 = \frac{\Delta p_1^2 \pi R^2 l}{\delta E} + \frac{\Delta p_1^2 \pi R^2 l}{2K} \quad (10.31)$$

Bu tenglamani  $\Delta p_3$ , ga nisbatan yechsak

$$\Delta p_3 = \rho g_0 \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}} \quad (10.32)$$

N. E. Jukovskiy formulasini umumiyroq ko'rinishda topdik.

(10.32) ni (10.23) bilan solishtirsak, suyuqlikda to'lqin tarqalish tezligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}} \quad (10.33)$$

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

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (10.34)$$

bo'lib qoladi. Oxirgi formula zichligi  $p$  va elastiklik moduli  $K$  bo'lgan bir jinsli suyuqlik uchun tovush tezligidan iboratdir. Shunday qilib, quvurlarda gidravlik zarba to'lqining tarqalish tezligi (10.33) formula yordamida hisoblanadi. Bu tezlik suv uchun 1435 m/s, benzin 1116 m/s, yog'lar uchun 1400 m/s deb taxminiy hisoblash mumkin. Albatta, quvurning materialiga qarab u ko'proq yoki kamroq bo'ladi.

#### 10.4. Teskari gidravlik zarba haqida tushuncha

Agar jo'mrak to'liq yopilmasa va suyuqlikning tezligi butunlay so'nmasa hamda

u  $\vartheta_0$  dan  $\vartheta$  ga kamaysa, bunda chala gidravlik zarba hosil bo'ladi. Bunday zarba uchun

N. E. Jukovskiy formulasini quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p_3 = \rho(\vartheta_0 - \vartheta)\alpha \quad (10.35)$$

Bu formula jo'mrakning bir onda (juda tez) yopilmagan holi uchun to'g'ri bo'ladi. Agar jo'mrakning yopilish vaqtini  $t_\delta$  desak va gidravlik zarbaning jo'mrakdan idishga borib, undan qaytib kelish vaqtini  $t_0$  desak, u holda

$$t_\delta < t_0$$

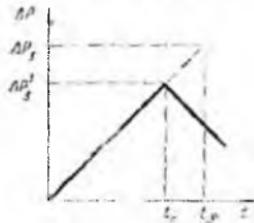
bo'lganda kranning yopilishi oniy bo'lgan deb qarash mumkin. Bunda  $t_0$  *gidravlik zarbaning fazasi* deyiladi, zarbaning o'zini esa  $t_0$  to'g'ri *gidravlik zarba* deyiladi.  $t_\delta > t_0$  bo'lganda esa teskari gidravlik zarba deyiladi va zarba to'lqini kran butunlay yopilib ulgurmasidan oldin idishdan qaytib jo'mrakka yetib keladi. Tabiiyki bu holda bosimning ortishi  $\Delta p_3$  to'g'ri zarba holidagi  $\Delta p_3'$  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'rinnli bo'ladi. Bundan:

$$\Delta p'_3 = \Delta p_3 \frac{t_0}{t_\delta} = \rho g_0 \alpha \frac{2l}{ct_\delta} = \frac{2\rho V_0 l}{t_\delta} \quad (10.36)$$



**10.5-rasm. To'g'ri va noto'g'ri zarbada bosimning ortishi**

Shunday qilib, teskari gidravlik zarba bosimi  $\Delta p'_3$ , to'g'ri gidravlik zarba bosimi  $\Delta p_3$ , dan farqli ravishda quvurning uzunligiga bog'liq, a tezlikka bog'liq emas.

Tupiksimon quvurlarda zarba bosimi ikki baravar ortib ketadi. Bu hodisani 10.6-rasm yordamida tushuntiramiz. Boshlang'ich bosimi  $p_0$  bo'lgan suyuqlikka to'la quvur katta  $p_1 = p_0 + 2\Delta p_3$  bosimli bo'lgan quvurdan jo'mrak yordamida ajratilgan bo'lsin. Jo'mrak ochilishi bilan quvurda bosim  $\Delta p_3 = p_1 - p_0$  miqdorga keskin ortadi, quvurdagi

suyuqlikning tezligi esa noldan  $\vartheta_0$  ga ortadi. Buning natijasida hosil bo'lgan zarba

to'lqini  $\alpha$  tezlik bilan quvurnnng ikkinchi uchi tomonga qarab harakat qiladi (10.6-rasm, a).

N. E. Jukovskiy formulasidan:

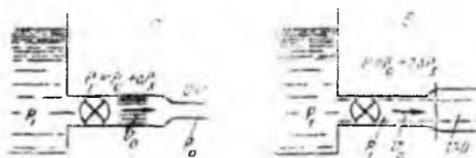
$$\beta_0 = \frac{\Delta p_1}{\rho \alpha}$$

Zarba to'lqini tupiksimon quvurning oxiriga kelganda butun quvur bo'yicha bosim  $\Delta p_T$

ga ortadi, tezlik esa quvur oxirigacha  $\vartheta_0$  qiymatga ega bo'ladi. Suyuqlik bundan nariga

oqa olmagani uchun uning tezligi so'nib, kinetik energiyasi, yangi qo'shimcha zarba to'lqinining hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Yangi zarba to'lqinining bosimi ham, N. E. Jukovskiy formulasiga asosan  $\Delta p_3 = \rho \beta_0 \alpha$  bo'lib, quvurdagi bosimning umumiy oshishi

$2\Delta p_3$  ga teng bo'ladi (10.6-rasm, b), suyuqlikping tezligi esa  $\vartheta = 0$  bo'ladi.



**10.6-rasm Noto'g'ri gidravlik zarbani tushuntirishga doir chizma**

Quvurning ikkinchi uchida yana bir idish bo'lsa (bu kuch gidrosilindrлarida bo'ladi), u holda ikkinchi zarba to'lqini kichikroq bo'lib, bosimning umumiy ortishi  $2\Delta p$ , dan kichik bo'ladi.

Ikkinci idish hajmi juda katta bo'lsa, ikkinchi zarba to'lqini deyarlik bo'lmaydi. Zarba bosimining ikki baravar ortish holi kuch gidrosilindrлarini yuqori bosimli suyuqlikka keskin tutashtirilgan hollarda sodir bo'ladi, bunga sabab gidrosilindrдagi suyuqlik miqdori (porshen silindr tubiga taqalgan bo'ladi) juda kam bo'lib, tupiksimon quvurga o'xshagan bo'ladi. (10.23) formula bir qancha taxminlardan foyadalanib 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  $\rho_0$  bosim juda katta bo'lmasa, yuqorida aytilgan taxminlarga qaramay N. E. Jukovskiy formulasi amaliy hisoblashlarga juda yaqin keladi. Boshlang'iuch bosim katta bo'lganida  $\Delta p_3$  ning (10.23) formula yordamida hisoblangan qiymatidan tajriba natijalari 10—20% dan ko'p ortiq bo'ladi. Bunga sabab katta bo'lgan suyuqlikning elastiklik moduli K, demak,  $\alpha$  tezlik ortadi. Bundan ko'rindaniki, Guk qonunidan chetga chiqish, ya'ni deformatsianing chiziqliligi buzilishi sodir bo'ladi. Hozirgi vaqtida gidrosistemalarda tez ishlaydigan boshqarish uskunalar (elektromagnit jo'mraklar va h.) qo'llanishi sababli, ularning ishga tushish vaqtida qisqa (taxminan 0,008—0,002 s) bo'lib,  $\Delta p_3$  juda katta qiymatlar (bir nesha va hatto o'nlaracha  $mH/m^2$ ) ga erishadi. Bosimning bunday ortishi gidrosistemalar ayrim bo'laklarining ishdan chiqishiga sabab bo'ladi. Bundan tashqari, gidravlik zarbada bosim impulsleri butun gidrosistema bo'yicha tarqalib, uning ayrim boshqaruv qurilmalari (bosim relesi, hidroqulflar va h.) ning to'satdan ishlay boshlashiga sabab bo'ladi. Bunday hollarda gidravlik zARBaga qarshi kurash usullaridan foydalananish kerak bo'ladi.

### 10.5. Gidravlik zARBani susaytirish usullari

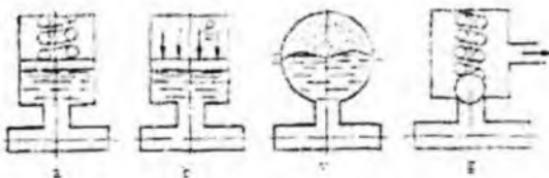
Gidravlik zARBa ta'sirini susaitirish turli usullar bilan amalgalash oshiriladi.

**Birinchi usul** – jo'mraknnng keskin ochilish yoki yopilish vaqtida  $t$  ni uzaytirib,  $t > \frac{2I}{\alpha}$  ga yetkazish yo'li bilan to'g'ri gidravlik zARBani yo'qotib,  $\Delta p_3$  ni kamaytirish. Bu

ish, odatda, drosselli rele yordamida bajariladi. Odatda, jo'mrakning holati (ochiq yoki yopiqligi) o'zgartirilganda suyuqlik quvurga rele orqali o'tgani uchun uning sarfi (demak, tezligi) prujinali klapanlar yordamida asta-sekin o'zgarib, ma'lum vaqtidan keyin kerakli qiymatga yetadi. Tajribalarning ko'rsatishicha, quvurlarni zarbasisiz tutashtirish bosimning o'zgarishi  $22 \text{ MH/m}^2$  atrofida va  $t \approx 0.1s$  bo'lganda ishonchli ta'minlanadi.

**Ikkinci usul** quvurlarga gidravlik zARBANI so'ndirgish (kompensator)lar o'rnatish. So'ndirgishlar quvurdagi suyuqlikka nisbatan yuqori siqiluvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan elastik elementli idishlar bo'lib, turli konstruktiv tuzilishga ega (10.7-rasm). Eng ko'p tarqalgan so'ndirgichlar elastik elementi prujina (10.7-rasm, a) va gaz (10.7-rasm, b) bo'lgan porshenli, membranali (10.7-rasm, b) va klapanli (10.7-rasm, g) so'ndirgichlardir. So'ndirgichlar, odatda, zarba tug'diruvchi (jo'mrak) yoki zARBADAN himoyalanuvchi qism yoniga o'rnatiladi. Ular yordamida zarba bosimining kamayishi sundirgishga 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 bergen chegarada mumkin bo'lgan deformatsiyaning o'zgarmas bo'lishiga harakat qilish kerak bo'ladi. Bu esa gazli so'ndirgichlarda gaz bo'lmasligini shunday tanlab olishni taqozo qiladiki, zarba to'lqinining yutilishida bosimning o'zgarishi minimal bo'lishi kerak. Amalda bunday so'ndirgichlarda gaz bo'lmasining hajmi quvurdagi suyuqliknинг 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 suyuqlinkning 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 mumkin.



**10.8 - rasm. Turli so'ndirgichlar**

Natijada so'ndirgich zarba energiyasini yutish o'rniغا kuchaytirishi mumkin. Inertlikni kamaytirish maqsadida so'ndirgichni gaz va suyuqlikni ajratuvchi elastik membrana bilan ta'minlanadi (10.8-rasm, v). Yuqorida aytilganidek, so'ndirgichda tebranga harakatning bo'lismi va zarba to'lqinining kuchayishiga quvur bilan so'ndirgichni tutashdiruvchi kanalning uzunligi va diametrining ta'siri bor ekanligi tajribalarda tekshirilgan. Shuning uchun kanalning uzunligi va diametrini to'lqinlarga kamroq ta'sir qiladigan qilib tanlab olinadi. Zarba to'lqinlarini klapanli so'ndirgichlar (10.8-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 qolib ketishiga xizmat qiluvchi qismi bo'ladi.

**Uchinchi usul** – gidravlik zarba paydo bo'lishi kutiladigan qurvuring uzunligini oshirish. Bu holda qarshilik kuchining hisobiga energiya kamayishi va zarba to'lqini davring ortishi natijasida to'g'ri zARBANI yo'qotish yo'li bilan zarba to'lqinining ta'siri kamaytiriladi

### **10.6. Gidravlik zarbadan amalda foydalanish**

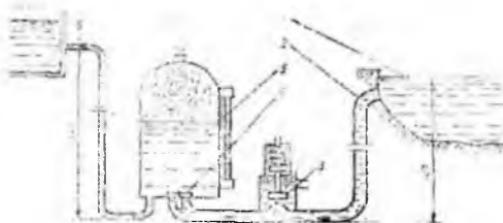
Texnikada ba'zi hollarda gidravlik zarbadan foydalanish ham mumkin. Masajan, gidravlik zarba energiyasidan suyuqliklarni yuqoriga ko'tarish uchun foydalaniladi. Shu maqsadda ishlataladigan qurilma *gidravlik taran* deyiladi.

Gidravlik taranning tuzilishi juda sodda bo'lib, uning asosiy qismlari havo qalpogi va xabarchi klapandan iboratdir (10.9- 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 printsipiga 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



**10.9-rasm. Gidravlik taran**

kamayadi. Natijada klapan 3 ochilib, gidrotaranda sikl yana takrorlanishi uchun sharoit vujudga keladi. Gidrotaranlarni hisoblashda foydali ish koefitsiyentini aniqlash uchun Eytelveyn quyidagi formulani taklif qilgan

$$\eta = 1,12 - 0,2 \sqrt{\frac{H_2 - H_1}{H_1}} \quad (10.37)$$

bu yerda  $H_1$ ,  $H_2$  - ta'minlovchi va qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathining balandligi.

Ba'zida zarba bosimi  $\Delta p_3$  ni kamaytirishdan ko'ra sistemaning zaif qismlarining mustahkamligini oshirishni afzal ko'rildi.

### X bob bo'yicha nazorat savollari

1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsiya bosimi hisobga olingan beqaror harakati
2. Gidravlik zarba hodisisi
3. To'g'ri zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi
4. Gidravlik zarbadan amalda foydalanish
5. Gidravlik taran.

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.

### **11.1. Oqimchaning to'siqlarga ta'siri**

Oqimchaning o'z yo'lida uchrangan 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 (11.1-rasm). Bu holda oqimcha to'siq bo'y lab  $x-x$  o'qiga nisbatan  $\alpha$  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  $d\tau$  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'qib yicha harakat miqdorining o'zgarishi qonunidan quyidagi tenglikka ega bo'ladi.

$$m_2u_2 \cos\alpha + m_3u_3 \cos\alpha - m_1u_1 = -Rdt \quad (11.1)$$

bu yerda R – oqimchaga devorning reaksiya kuchi.

Ko'rileyotgan hajmi uchun  $m_2 = m_3$ ,  $u_2 = u_3$  ni nazarga olib, bu tenglikni quyidagicha yozamiz:

$$2m_2u_2 \cos\alpha - m_1u_1 = -Rdt \quad (11.2.)$$

Yuqorida aytalganga asosan, to'siqning simmetrikligidan  $m_1 = 2m_2$  ekanligi ko'rindi.  
 Bu holda (11.2) tenglamani bunday ifodalaymiz:

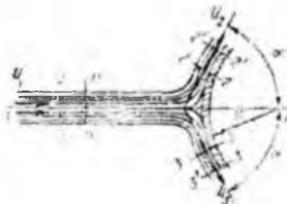
$$Rdt = m_1 u_1 (1 - \cos \alpha) \quad (11.3)$$

Ikkinchi tomondan,

$$m_1 = \rho q dt = \frac{M}{g} dt$$

bo'lganligi uchun

$$Rdt = \frac{M}{g} u_1 (1 - \cos \alpha) dt \quad (11.4)$$



**11.1-rasm. Oqimchaning to'siqqa urilishi**

Shunday qilib, oqimchaga devorning reaktsiya kuchini quyidagi formula bilan hisoblash mumkin:

$$R = \frac{M}{g} u_1 (1 - \cos \alpha) \quad (11.5)$$

Oqimchaning devorga ta'sir kuchi esa reaktsiya kuchiiga teng va teskari yo'nalagan bo'lib,  $q = d\omega u_1$  ni hisobga olsak, quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = \frac{m_1^2}{g} d\omega (1 - \cos \alpha) \quad (11.6)$$

## 11.2. 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  $\omega$  bilan almashtirsak, oqimning devorga ta'sir kuchi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \quad (11.7)$$

Bu formula o'lchamlari katta bo'lmagan dumaloq plastinka (11.2-rasm, a) va yarimsfera (11.2-rasm, b) uchun ham to'g'ri. Agar devor bilan oqim yo'nalishi orasidagi burchak  $\alpha = 90^\circ$  bo'lsa (11.2-rasm, v), u holda (11.7) formula quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

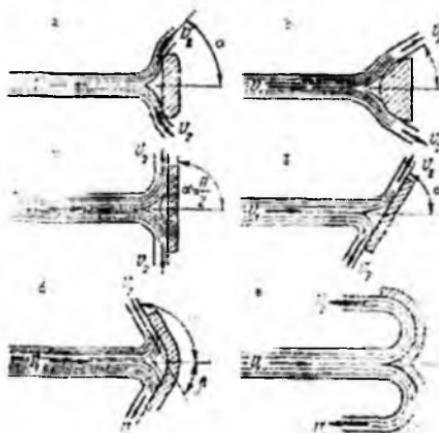
$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \quad (11.8)$$

Devor oqim chiqayotgan teshikka juda yaqin bo'lganda oxirgi formulaga oqimning teshikdan yoki naychadan oqib chiqish formulasini qo'yish mumkin.

$$\theta = \phi \sqrt{2gH} \quad (11.9.)$$

Tezlik koeffisientini taxminan birga teng deb qabul qilsak, u holda bo'ladi.

$$p = 2\gamma H \omega \quad (11.10.)$$



**11.2-rasm. Oqimning devorga urilishning turlari**

Demak, bu holda oqimning devorga ta'sir kuchi asosiy oqim kesmiga, balandligiga ikkilangan tezlik bosimga teng bo'lgan suyuqlik ustuni og'irligiga teng

Agar burchakka 90 dan ortiq bo'lsa (11.2-rasm, d), 180- $\alpha$ -ni  $\beta$  bilan belgilab, (11.7) formulani quyidagicha yozamiz:

$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega (1 + \cos \beta) \quad (11.11)$$

Bu formuladan ko'rindiki,  $\alpha$  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

$$P = \frac{2\gamma g^2}{g} \omega \quad (11.12.)$$

ya'ni bu holda devorga tushadigan bosim oqimning perpendikulyar tekislikka ta'sir kuchidan ikki baravar katta bo'ladi.

Bu hodisa texnikada cho'michili turbinalarda qo'llaniladi, ya'ni turbinaning cho'michini oqimni  $180^\circ$  orqaga qaytaradigan qilib loyihalanadi. Oqim uning yo'nalishiga α burchak ostida qo'yilgan tekis devorga urilganda esa (11.3- rasm, g) bosim quyidagiga teng bo'ladi:

$$P = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \sin \alpha \quad (11.13)$$

Bu holda oqimning devorga zarbasi qiya zarba deyiladi. Devorga tushadigan normal bosim esa bunday hisoblanadi:

$$P_N = P \sin \alpha = \frac{\gamma g^2}{g} \omega \sin^2 \alpha \quad (11.14)$$

Agar devor oqimga yoki qarama-qarshi tomonga qarab biror  $\vartheta$  tezlik bilan harakat

qilsa, unda birinchi holda oqimchaning tezligi  $\frac{\vartheta + \vartheta'}{g}$  nisbatda ortib, ikkinchi holda esa  $\frac{\vartheta - \vartheta'}{g}$  nisbatda kamayadi. Bu hollarda bosim ham tegishli miqdorda ortadi yoki kamayadi:

$$P = \frac{\gamma(\vartheta \pm \vartheta')^2}{g} \omega$$

## XI bob bo'yicha nazorat savollari

1. Oqimning devorga ta'sir kuchi
2. Oqimning devorga urilishning turlari
3. Oqimchaning to'siqlarga ta'siri.

## **GIDROMASHINALAR.**

Gidromashinalarda harakatlanuvshi turli ish qismlari yordamida suyuqliklarga energiya beriladi va bu energiyadan turli maqsadlarda foydalaniadi yoki suyuqlik energiyasi boshqa mexanizmlarning ish qismlarini harakatga keltiradi.

Gidromashinalar texnikaning suyuqlik bilan ishlaydigan turli qismlarida keng qo'llaniladi. Bular to'g'risida ushbu kitobning kirish qismida to'xtalib o'tgan edik.

### **1 bo'lim. KURAKLI NASOSLAR**

#### **XII bob. GIDROMASHINALAR HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR**

##### **2.1-§. Nasoslar va gidrosvigatellar**

Nasoslar va gidrosvigatellar gidromashinalarning shunday turlariga kiradiki, ularda suyuqlik energiya qabul qilib oluvchi yoki energiya bilan ta'minlovchi ish jismi vazifasini bajaradi. Bunda gidromashinaning ish qobiliyati u orqali o'tgan suyuqlik energiyasining o'zgarish miqdoriga bog'liq. Shuning uchun ishlab chiqarish talabiga qarab gidromashinalarni suyuqlik bilan ko'proq yoki kamroq miqdorda energiya almashadigan qilib quriladi va ular o'zining tuzilishi, turli parametrlarining katta-kichikligi va parametrlarini qanday chegarada o'zgartirish mumkinligiga qarab ishlab chiqarishning tegishli sohalarida foydalaniadi.

Nasoslar suyuqliklarga energiya beruvchi mashinalar turiga kiradi va odatda, suv, neft, benzin, kerosin, turli moylar va boshqa suyuqliklarni chuqurlikdan tortish, yuqoriga ko'tarish, bir yerdan ikkinchi yerga uzatish, ular yordamida boshqa jismlarni ko'shirish, tashish ushun ishlataliladi. Bunda suyuqliklar nasos orqali o'tganida ularning energiyasi ortadi. Bu energiya yordamida suyuqlik ustida aytilgan ishlarni bajarish mumkin bo'ladi. Nasoslar suyuqlikka bergen energiyasiga yoki o'zidan qancha suyuqlik o'tkaza olishiga qarab turli gruppalarga bo'linadi va bajargan vazifasini qaysi usulda amalga oshirishiga qarab turlicha nomlanadi.

Nasoslarning ba'zi turlaridan suyuqlik yoki gazni boshqa joyga ko'chirish yo'li bilan siyraklanish hosil qilish uchun foydalaniadi. Bunday nasoslarda suyuqlikka

energiya berish kabi asosiy vazifadan ko‘ra vakuum hosil qilish xossasi muhim bo‘lib, ular vakuum nasoslar deyildi.

Ventilyatorlarning ishlash prinsiplari markazdan qochma nasoslarga o‘xshagan bo‘lib, ular havoni harakatga keltirish, turli narsalarni havo yordamida tashish (pnevmonotransport), ifloslangan havoni toza havo bilan almashtirish, qizdirilgan havoni issiqlik zarur bo‘lgan yerga uzatish (quritish ishlari) va boshqa vazifalarni bajaradi. Bunda ventilyator havoning energiyasini ko‘p oshirmasa ham, o‘zidan juda ko‘p miqdorda havo o‘tkaza oladi. Sanoatda va qishloq xo‘jaligida ularning ana shu xususiyatidan foydalilanadi. Nasoslarga teskari ish bajaruvchi, ya’ni suyuqlikdan energiyani olib uni harakat ko‘rinishida boshqa mexanizmlarga uzatuvchi mashinalar *gidrosvigatellar* deyiladi. Gidrosvigatellardan suyuqlik o‘tganda uning energiyasi kamayadi. Bu kamaygan energiya hisobiga gidrosvigatelning ish qismi harakatga kelib, bu harakat boshqa mexanizmga beriladi va biror ish bajaradi yoki elektr energiyasi hosil qilishda foydalilanadi. Bir xil turga kirgan nasoslar va gidrosvigatellarning harakatlanuvchi qismlari asosan turlicha bo‘lib, ba’zi hollarda bir xil bo‘lishi mumkin. Bunda bitta qurilmaning o‘zi, qo‘yilgan talabga qarab, nasos yoki gidrosvigatel sifatida ishlashi mumkin. Bunda albatta nasos yoki gidrosvigatel teskari vazifa bajarganida uning foydali ishi kamayadi. Suvning energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda ishlataladigan gidrosvigatellar *turbinalar* deb atalib, ular ayrim mustaqil gruppaga ajraladi. Bu mashinalar juda katta miqdordagi energiyani qabul qilib va uni harakatga aylantirib generatorga berishi bilan farq qiladi. Hozirgi zamon turbinalari ichida o‘zidan juda ko‘p miqdorda suv o‘tkazishga mo‘ljallangan turlari mavjud bo‘lib, ularning quvvati 700 mVt dan ortadi.

Gidrotexnika, energetika tog‘ sanoati va boshqa sohalarida nasoslar va gidrosvigatellar juda ko‘p qo‘llaniladi. Ulardan nasos stansiyalari va elektrostansiyalar tashkil qilinadi. Bu stansiyalarda bir nesha nasos yoki gidrosvigatellar birga ishlataladi.

## 2.2-§. Nasoslarni guruhlash

Nasoslarni guruhlash turlicha bo‘lib, ularni tuzilishi, turli parametrlari, suyuqlikka energiya berish usuli va boshqalarga qarab guruhlash usullari mavjud. Eng ko‘p tarqalgan usul ishlash **prinsipi**ga qarab guruhlashdir. Bunda nasoslar asosan ikki katta guruhga bo‘linib, ular kurakli va hajmiy nasoslar bo‘ladi. Bu nasoslar deyarlik barcha

nasoslarni o‘z ichiga oladi, bir qancha boshqacha prinsipda ishlaydigan nasoslar bu ikki guruhga kirmay qoladi. Bularga oqimchali nasoslar (uchinchi klass sifatida ajratish mumkin) va boshqa ko‘targichlar (montejyu, erliftlar va boshqalar) kiradi.

*Kurakli nasoslar* markazdan qoshma, o‘qiy propellerli, buyurtma asoslarga bo‘linadi. Tuzilishi va ishlash prinsipi bir xil bo‘lgani uchun ventilyatorlarni ham kurakli nasoslar guruhiga kiritish mumkin. Ventilyatorlarning ham markazdan qoshma, o‘qiy, propellerli turlari mavjud. Kurakli nasoslarni bitta valda yoki bir yoki necha ish g‘ildiragi o‘rnatalishiga qarab, bir pog‘onali va ko‘p pog‘onali nasoslarga ajratish mumkin. Markazdan qoshma nasoslar so‘rish usuliga qarab bir tomonlama so‘rvuchi va ikki tomonlama so‘rvuchi va ikki tomonlama so‘rvuchi nasoslarga bo‘linadi.

*Hajmiy nasoslar* ikki katta guruhga bo‘linib, ular porshenli va rotorli nasoslar deyiladi. Bular yana bir qancha kichik guruhchalarga bo‘linadi (ular to‘g‘risida tegishli bo‘limda to‘xtatamiz).

*Oqimchali nasoslar* esa ejektor, injektor va gidroeleatorlarni o‘z ichiga oladi. Nasoslarni bunday guruhlashga ishlab chiqarishda eng ko‘p tarqalgan ikki tur (markazdan qoshma va porshenli) nasoslar atrofida barcha nasoslarni guruhlashga intilish asos bo‘lgan bo‘lsa kerak.

Nasoslarni suyuqlikka bergen bosimining katta-kichikligiga qarab, past bosimli (20 m suv ust. gacha), o‘rtacha bosimli 20 + 60 m suv ust. ga teng), yuqori bosimli (60 m suv ust. yuqori) nasosga ajratish mumkin. Ularni bergen sarfiga qarab past, o‘rta va yuqori sarfli nasoslarga guruhlash mumkin.

Energiyaning nasosga qanday berilishiga qarab guruhlashga intilish ham bo‘lgan. Bu aytilgan oxirgi ush tur guruhlashning har biriga ham barcha mavjud nasoslarni kiritish mumkin bo‘lgani bilan bu uch usulda juda katta kamchilikka ega. Chunki bul usullarda bir guruhga porshenli, markazdan qoshma, rotorli, propellerli va ishlash prinsipi tamoman bir-biridan farqlanuvchi boshqa nasoslar kirishi mumkin. Suyuqlikka berilgan energiya turiga qarab guruhlash ancha qulay bo‘lsa kerak. Nasosdan o‘tayotgan suyuqlikka berilgan energiya uch xil bo‘lishi mumkin: holat energiyasi  $z$ , bosim energiyasi  $\left(\frac{p}{\gamma}\right)$ , kinetik energiya  $\left(\frac{\nu^2}{2g}\right)$ .

Faqat holat energiyasi beruvchi mashinalar suv ko‘targchilar deyiladi. Agar ko‘tarilayotgan suyuqlik faqat suv bo‘lmay, neft, turli moylar va boshqa xil suyuqliklar

bo‘lishi mumkinligini xisobga olsak, bu mashinalarni suyuqlik ko‘targichlar deyish kerak bo‘ladi. Bu guruhga suv ko‘tarish uchun ishlatalgan barcha qurilmalar: charxpalak, chig‘ir, arximed vinti va boshqalar kiradi. Zamonaviy qurilmalardan bu guruhga kiradiganlari qatoriga kam debitli (kam sarfli) quduqlardan neft chiqaruvchi tortish qurilmalari, chuqur quduqlardan gaz va havo yordamida suyuqlik (suv, neft) ko‘taruvchi ko‘targichlar kiradi.

Ikkinci guruhga suyuqlikka bosimni orttirish yo‘li bilan energiya beruvchi nasoslar kiradi. Suyuqlikni porshen bosimi (porshenli nasoslar), aylanuvchi qismlar (rotorli nasoslar), sifilgan havo, gaz yoki bug‘ (pnevmatik suv ko‘targichlar, Gemfi nasosi va h.) yordamida siqib chiqarish mumkin. Bularga suyuqlikka gidravlik zarba orqali impuls beruvchi mexanizmlar, gidravlik taran ham kiradi. Ushinshi guruh nasoslarda suyuqlikka kinetik energiya berilib, so‘ngra u bosim energiyasiga aylantiriladi. Bularga birinchi galda kurakli (markazdan qoshma, parrakli, o‘qi) nasoslar kiradi (ularda ish qismi valda aylanuvchi kurakli g‘ildiraklardir). Ikkinchidan, oqimchali nasoslar (ejektorlar, injektorlar, gidravlik elevatorlar) kiradi (ularda suyuqlikka energiya beruvchi boshqa suyuqlik, gaz yoki bug‘dir). Nasoslar va suv ko‘targichlarning ush gruppaga taqsimlanishini sxema ko‘rinishida tasvirlanishi mumkin (188-bet). Nasoslarda suyuqlik qaysi tipdagi kuchlardan (dinamik kuchlar yoki statik kuchlar) foydalanim so‘rilishiga qarab, ular dinamik yoki hajmiy nasoslarga bo‘linadi. Bunda yuqoridaagi klassifikasiyaga kirgan nasoslarning porshenli va rotoriy turlari hajmiy nasoslarga, qolganlari esa dinamik nasoslarga kiradi.

Б

А

С

О

С

Л

А

Р

Holat energiyasini  
o'zgartiruvchi  
mexanizmlar

Oddiy suv  
ko'rgizchilar

- sho' mistili
- flames
- suv ko'rgizch
- chanpalak
- axim ad vint

gaz va havoli  
ko'rgizchilar

- eriflik
- gazdilash

penhan va  
phunjasli  
nasoslar

- krivoshij-pshatun
- krivoshij-pusiz
- to'g'ri tassu qiluvchi

roterli nasoslar

- shubeli
- o'zi so'sar
- porshador

siglo chiqaruvchi  
rolini boshqa  
suyuqlik, gaz yoki  
buq o'yinadigan  
nasoslar

- charbat ko'rgizchilar
- pulsometr
- genfrinasi

gidirovchi turish

Suyuqlik kinetik  
energiyasini o'zgarti-  
rivo'ngra bosim  
energyasiga sylan-  
tiruvchi mexanizmlar

korakli nasoslar

- markazdan qoshma
- parakli
- o'qiq

ogimchalni nasoslar

- ejektor
- injektor
- gidroelektratorlar

## **2.3-§. Dinamik va hajmiy nasoslarning ishlash prinsiplari**

Dinamik nasoslar o‘zidan o‘tkazayotgan suyuqlikning kinetik energiyasini ortiradi, so‘ngra bu energiyaning ko‘proq qismini bosim energiyasi (potensial energiya) ga aylantiradi. Suyuqlikka dinamik nasoslar yordamida kinetik energiya berish ikki bosqichda amalga oshiriladi. Birinchidan, nasosning ish bo‘lmasiga yoki ish g‘ildiragiga kirishdan oldin siyraklanish hosil bo‘lib, siyraklanish bosimi bilan ta’minlovchi idishdagi bosimlar farqi hisobiga suyuqlikning tezligi (ya’ni kinetik energiyasi) ortadi. Ikkinchidan, ish kamerasi yoki ish g‘ildiragida mexanik harakat yordamida kinetik energiya beriladi. Kurakli nasoslarda katta tezlik bilan aylanayotgan ish g‘ildiragi suyuqlikni aylanma harakat qildiradi, natijada suyuqlikning tezligi avvalo aylanma tezlik hisobiga ortadi. Bundan tashqari, aylanma harakat qilayotgan suyuqlikka albatta markazdan qoshma kuch ta’sir qilib, uning markazdan qoshma tezligini oshiradi. Shunday qilib, suyuqlikning tezligi yana ortadi. Shu usul bilan nasos berayotgan energiyani kinetik energiya ko‘rinishida qabul qiladi. Tabiiyki, markazdan qoshma kuch ta’sirida suyuqlik nasos korpusiga borib taqalishi (markazdan qoshma tezlikning kamayishi) natijasida potensial energiya (bosim) ham qisman ortadi, lekin bu nasoslarda suyuqlikka asosan kinetik energiya beriladi. Nasosdan chiqishda esa avval spiral yo‘l yoki yo‘naltiruvchi apparat yordamida, so‘ngra esa diffuzor yordamida suyuqlikning kesimini oshirib boriladi. Natijada suyuqlik olgan kinetik energiyaning ko‘pchilik qismi potensial energiyaga aylanadi. Suyuqlikning qolgan kinetik energiyasi uni inersiya bo‘yicha harakat qildiradi. Potensial energiyadan esa zaruratga qarab turli maqsadlarda foydalilanadi (masalan, so‘rilgan suyuqlikni transport qilish, boshqa biror mexanizmni gidrosvigatellar yordamida harakatga keltirish va h.).

Oqimchali nasoslarda suyuqlikka nasos korpusidan katta tezlik bilan o‘tayotgan ish suyuqligi yordamida energiya beriladi. Bunda ham avval oqimchaning katta tezlik bilan o‘tishi hisobiga hosil bo‘lgan siyraklanish yordamida energiya beriladi. So‘ngra ish bo‘lmasida ikki suyuqlikning aralashuvidan energiyasi ko‘p suyuqlik bilan energiyasi kam suyuqlik zarrachalari orasida energiya almashinuv ujuduga keladi. Shunday qilib, so‘rilgan suyuqlikni transport qilish, boshqa biror mexanizmni gidrosvigatellar yordamida harakatga keltirish va h.).

Suyuqlikka gidravlik zarba yordamida hosil qilingan qo‘srimcha bosim hisobiga energiya berib, so‘ngra uni o‘z inersiyasi hisobiga ko‘taruvchi gidravlik taranlarni ham

dinamik nasoslar guruhiga kiritish mumkin. Bunday qurilmalarning tuzilishi va ishlash prinsipi haqida gidravlikha bo‘limida to‘liq ma’lumot berilgan.

Hajmiy nasoslarda esa nasosdan o‘tayotgan suyuqlikka potensial energiya ish bo‘lmasing o‘zida berilgani uchun dinamik nasoslardagi kabi uning chiqishida ham maxsus qurilmalar qo‘llashga hojat qolmaydi. Bu nasoslarda suyuqlikka qisman kinetik energiya ham beriladi, lekin unga berilgan energiyaning asosiy qismi potensial energiyadan iborat.

Bu ish porshenli nasoslarda porshenni ilgarilama-qaytma harakat qildiruvchi kuchi yordamida avval ish bo‘lmasing hajmini oshirib, suyuqliknn so‘rilish teshigi va so‘rilish klapani orqali bo‘lma ka kiritish, so‘ngra uning hajmini kamaytirish hisobiga haydash teshigi va klapani orqali siqib chiqarish yo‘li bilan amalga oshiriladi. Xuddi shu prinsip porshen rotorli nasoslarda ham qo‘llaniladi. Porshenli nasoslarda bir vaqtida bir necha porshen ishlashi mumkin. Bu holda nasos ko‘p karra harakatli yoki qisqacha ko‘p harakatli nasoslar deyiladi. (Masalan, ikki harakatli, uch harakatli, va hokazo nasoslari.) Shiberli yoki plastinkali nasoslarda esa suyuqlikka potensial energiya berish hajmi kamayib boruvchi bo‘lmada ikki tomonidan plastinkalar bilan chegaralangan hajmning avval bo‘lmaning tor qismidan keng qismiga so‘ngra keng qismidan tor qismiga aylanma harakat yordamida siljitish yo‘li bilan amalga oshiriladi. Bunday harakatni porshenli nasosdagi ilgarilama-qaytma harakatga qiyoslash mumkin. Ikki plastinka bilan chegaralangan hajm bo‘lmaning tor qismidan keng qismiga siljiganda so‘rish, keng qismidan tor qismiga siljiganida esa haydash prosessi vujudga keladi.

Kolovorotli, shesternyali va vintli nasoslarda esa bu ish so‘rish bo‘lmashasidagi suyuqlik bilan ikki tomonidan (shesternya tishlari, vintning bo‘rtmalari va boshqalar bilan) chegaralangan hajmni to‘ldirish va katta aylanma tezlik yordamida haydash bo‘lmachasi keltirib tushirish yo‘li bilan amalga oshiriladi. Bunda suyuqlik haydash bo‘lmachasi bir shesternya yoki vintdagagi chegaralangan hajmga ikkinchi shesternyaning tishi yoki vintdagagi bo‘rtmasi siqilib kirishi natijasida siqib chiqariladi. Bo‘sagan hajm esa so‘rish bo‘lmachasida yana suyuqlikka to‘ldiriladi. Dinamik va hajmiy nasoslarning barcha turlari ustida to‘liq to‘xtashga imkoniyat bo‘lмагани uchun bu yerda ularning eng ko‘p tarqalganlarining ishslash prinsiplari haqida ma’lumot berish bilan chegaralanamiz.

## 2.4-§. Nasoslarning asosiy parametrlari

Nasoslardan ishlab chiqarishda foydalanishda uning qayerda va qanday sharoitlarda ishlatalishi mumkinligini aniqlaydigan eng muhim parametrlari asosiy parametrlar deyiladi. Bularga nasosning so'rishi (sarfi), hosil qiladigan bosimi, quvvati va foydali ish ko'effisienti kiradi.

1. Nasos vaqt birligida so'rgan suyuqlik hajmi  $Q$  uning *so'rishi* yoki *sarfi* deb ataladi. So'rish  $m^3/s$ ,  $l/s$  va boshqa birliklarda o'lschanadi.

Markazdan qoshma nasoslarning sarfi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$Q = w_1(\pi d_1 - \delta z)b_1 \sin \beta_1$$

yoki

$$Q = w_2(\pi d_1 - \delta z)b_2 \sin \beta_2 \quad (12.1)$$

bu erda  $w_1, w_2$ -ish g'ildiragiga kirish va chiqishdagi nisbiy tezliklar;  $d_1, d_2$  – ish g'ildiragining ichki va tashqi diametrlari;

$\delta$  – nasos kuraklarining qalinligi;  $z$  – kuraklar soni;  $b_1, b_2$  – kuraklarning kirish va chiqishdagi eni;  $\beta_1, \beta_2$  - kuraklarning kirish va chiqishdagi egrilik burchaklari.

Sodda amaliy porshenli nasosning sarfi ushbuga teng:

$$Q = FL \frac{n}{60} \quad (12.2)$$

bu erda  $F$  – porshen ko'ndalang kesimining yuzi;  $L$  – porshenning yurishi (bir borib kelishda bir tomonga yurgan yo'lining uzunligi);  $n$  – porshenning bir minutda borib kelish soni (yoki krivoship shatunli mexanizmnning aylanish soni).

Ko'p amaliy porshenli nasosiing sarfi

$$Q = FL \frac{n}{60} i \quad (12.3)$$

bu erda  $i$  – nasos silindrlarining soni.

Ikki amaliy bir porshenli nasosning sarfi

$$Q = (2F - f)L \frac{n}{60} \quad (12.4)$$

bu erda  $f$  – shtok ko'ndalang kesimining yuzi.

Boshqa turdag'i nasoslarning sarfi to'g'risida tegishli nasos ustida to'xtalganda gapiriladi.

2. Nasosdan o'tayotgan suyklikning birlik og'irlikdagi miqdoriga berilgan energiya (boshqacha aytganda nasosdan o'tayotgan suyuqlik oqimi olgan solishtirma

energiyasiga) nasosning bosimi deb ataladi va suyuqlik ustunining metrlari hisobida o‘lchanadi.

Bosim ikki xil usulda aniqlanadi:

- 1) Nasos qurilmasining o‘lchov asboblari ko‘rsatuvi bo‘yicha (nasos ishlab turganda);
- 2) suyuqlikka nasos qurilmasi qismlarida berilgan solishtirma energiyalar yig‘indisi bo‘yicha.

**B i r i n c h i u s u l d a** bosim quyidagicha hisoblanada. Avval nasosga kirishdagi energiya hisoblanadi:

$$e_1 = H_c + H_o + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

bu erda  $H_s$ ,  $P_1$ ,  $v_1$  - so‘rish balandligi bosimi va tezligi.

So‘ngra nasosdan chiqishdagi energiyani hisoblanadi.

$$e_2 = H_c + H_e + \frac{P_x}{\gamma} + \frac{v_x^2}{2g}$$

bu erda  $H_0$  – kirishdagi vakuummetr bilan chiqishdagi manometrlar o‘rnatilgan sathlar farqi;  $P_x$ ,  $v_x$  – haydash bosimi va tezligi.

Oxirida chiqish va kirishdagi solishtirma energiyalar farqini hisoblab, nasosdan o‘tayotganda suyuqlik olgan energiya topiladi. Bu farq nasosning bosimiga teng bo‘ladi:

$$H = e_2 - e_1 = \left( H_c + H_0 + \frac{P_x}{\gamma} + \frac{v_x^2}{2g} \right) - \left( H_c + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} \right) = H_0 + \frac{P_x - P_c}{\gamma} + \frac{v_x^2 - v_c^2}{2g} \quad (12.5)$$

Surish bosimini vakuummetr ko‘rsatkichi bo‘yicha topish mumkin:

$$P_c = P_a = P_{vac}$$

Haydash bosimini esa manometr ko‘rsatuvidan aniqlanadi:

$$P_x = P_a = P_m$$

Bu munosabatlardan foydalanib va vakuummetrik hamda manometrik bosimlarni tegishli bosim miqdorlari orqali ifodalab nasosning bosimi uchun quyidagi munosabatni olamiz:

$$\begin{aligned} H_{vac} &= \frac{P_{vac}}{\gamma}; H_m = \frac{P_m}{\gamma} \\ H &= H_m H_{vac} + H_0 + \frac{v_x^2 - v_c^2}{2g} \end{aligned} \quad (12.6)$$

Ko'pincha, tezlik bosimlarining ayirmasi kichik miqdor bo'lgani uchun ularni hisoblashlarda nazariga olinmaydi.

**I k k i n c h i u s u l** bilan bosimni hisoblash uchun avval ta'minlovchi idishdagi suyuqlik sathidagi kesim (1—1) va nasosga kirishdagi kesim (2—2) uchun Bernulli tenglamasi yoziladi:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + h_c.$$

So'ngra nasosdan chiqishdagi kesim (3—3) va suyuqlikning eng yuqori ko'tarilgan sathidagi kesim (4—4) uchun Bernulli tenglamasi yoziladi:

$$z_3 + \frac{P_c}{\gamma} + \frac{v_x^2}{2g} = z_4 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{v_4^2}{2g} + h_x$$

bu tengliklarda:  $z_1, z_2, z_3, z_4$  — tegishli kesimlarning geometrik balandligi;  $h_s, h_x$  — so'rish va haydash trubalaridagi qidravlik qarshiliklar. Eng yuqori kesim (4 — 4) qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathida desak, idishlarning kesimi trubalar kesimiga qaraganda katta bo'lgani uchun  $v_1$  va  $v_4$  larni  $v_s$  va  $v_x$  larga nisbatan kichik miqdor deb tashlab yuboraniz. Oxirgi ikki tenglamaga  $z_2 - z_1 = H_1$ ,  $z_4 - z_2 = H_2$  belgilashlarni kiritib, ulardan so'rish va haydash bosimlarini topamiz:

$$\frac{P_c}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} - H_1 - \frac{v_c^2}{2} = h_c$$

$$\frac{P_4}{\gamma} = \frac{P_4}{\gamma} + H_2 - \frac{v_x^2}{2g} + h_x$$

Olingan miqdorlarni (12.3) tenglamaga qo'yib, ushbu tenglikni olamiz:

$$H = \frac{P_4 - P_1}{\gamma} + H_0 + H_2 + H_1 + h_c + h_x$$

Nasos qurilmasidan (113 va 130-rasmlar) dan ko'rindaniki  $H_0 + H_2 = H_x$ ,  $H_x = H_s$ . Bunga asosan

$$H_0 + H_2 + H = H_x + H_0 = H_s$$

Ta'minlovchi va qabul qiluvchi idishlarda bosim, odatda, atmosfera bosimiga teng bo'ladi: ( $P_1 = P_s$ ;  $P_4 = P_a$ ). Shunga asosan bosim ushun yozilgan oxirgi tenglama quyidagi ko'rinishiga keladi

$$H = H_s + h_c + h_x \quad (12.7)$$

Bu tenglikdan ko'rindaniki, ochiq idishlarda nasosning bosimi suyuqlikni ko'tarish hamda so'rish va haydash trubalaridagi qarshilikni yengishga sarflanadi.

3. Nasosning vaqt birligida bajargan ishi uning *quvvati* deyiladi. Quvvat kgm/s, o.k, kVt va boshqa birliklarda o‘lchanadi. Nasosning biror vaqtida ko‘targan suyuqligi ( $Q$  kg, bosimi  $H$  bo‘lsa, uning bajargan ishi quyidagiga teng:

$$A = GH$$

Yuqorida aytilganga asosan

$$N = \frac{GH}{t}$$

lekin

$$\frac{G}{t} = \gamma Q$$

shunga asosan quvvat quyidagicha topiladi:

$$N_f = \gamma QH \quad (12.8)$$

Quvvatni o. k. larda ifodalasak:

$$N_f = \frac{\gamma QH}{75} \quad (12.9)$$

kVt larda ifodalasak

$$N_f = \frac{\gamma QH}{102} \quad (12.10)$$

Bu olingan quvvat formulalari nasosning suyuqlikka bergan energiyasini ifodalovchi foydali quvvatni beradi. Amalda esa dvigatelning valni aylantirishga sarflagan quvvati bu formulalar bo‘yicha hisoblangan miqdoridan ancha ko‘p bo‘ladi. Dvigatelning valga bergan quvvati bilan foydali quvvatning farqi suyuqlikni ko‘tarishda turli qarshiliklarni yengishga sarf bo‘ladi.

4. Foydali quvvatning valga berilgan quvvatga nişbati nasosning foydali ish koeffisienti (FIK) deb ataladi:

$$\eta = \frac{N_f}{N} \quad (12.11)$$

Buni nazarga olganda suyuqlikni so‘rish uchun sarf bo‘lgan umumiyl quvvat dvigatel sarflagan quvvatga teng ekanligini tushunish qiyin emas. Umumiyl quvvat quyidagi formulalar yordamida hisoblanadi:

$$N = \frac{\eta QH}{\eta} \text{ kgm/s}$$

$$N = \frac{\eta QH}{75\eta} \text{ o.k} \quad (12.12)$$

$$N = \frac{\eta QH}{102\eta} \text{ kVt}$$

Yuqoridagilarga asosan aytish mumkinki, FIK suyuqlikni ko'tarishdagi barcha enerjiya yo'qotishlarini ifodalovchini miqdordir. Bu yo'qotishlar uch xil turga bo'linadi: gidravlik, mexanik va hajmiy.

**1. Gidravlik yo'qotishlar** – nasosdagi gidravlik qarshiliklar (gidravlik ishqalanish, nasosga kirish va chiqishda, uyurmalari hosil bo'lishida va h.) ni yengishga sarflanadigan energiyadir. Bu yo'qotishlarni gidravlik FIK hisobga oladi;

$$\eta_g = \frac{H}{H + \sum h_{\text{losses}}}$$

Bunda  $\sum h_{\text{losses}}$  n – nasosdagi yo'qotishlar yig'indisi. Gidravlik FIK nasos ish g'ildiragi va kurakchalari, umuman nasosning tayyorlanish sifatiga bog'liq.

**2. Mexanik yo'qotishlar** – nasosning podshipnik va maydonlaridagi ishqalanishga, krivoship-shatunli mexanzmlarga sarflangan quvvat yo'qotishlari bo'lib, uni mexanik FIK hisobga oladi:

$$\eta_m = \frac{N_n}{N_v}$$

bu yerda  $N_n$  – nasosning indikator quvvati bo'lib, nasos validagi quvvat va mexanik yo'qotishlarga sarflangan quvvatlarning ayirmasiga teng.

Mexanik FIK podshipnik, maydon va ishqalanish ro'y beradigan boshqa qism-larning tayyorlanish sifatini va moslanganligini xarakterlaydi.

**3. Hajmiy yo'qotishlar**-suyuqlikning nasosdagi zichlagishlar, klapanlar orqali sirqib ketishi va nasos ish kameralarini yetarli to'ldirmasligi natijasida ro'yobga keladi. Hajmiy FIK  $\eta_v$  – quyidagicha ifodalanadi:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + \Delta Q},$$

bunda  $\Delta Q$  – nasosdagi suyuqlikning hajmiy yo'qotishlari.

Hajmiy FIK nasosning geometriklik darajasini va ishlash sharoitini xarakterlaydi.

To'liq FIK yuqoridagi ush FIK larning ko'paytmasiga teng:

$$\eta = \eta_g \eta_v \eta_M \quad (12.13)$$

Porshenli nasoslarda  $\eta = 0,7 — 0,9$ , markazdan qoshma nasoslarda esa  $\eta = 0,6 — 0,8$ .

Nasos dvigateliga kerakli quvvat  $N_{dv}$  ushbu formula bilan aniqlanadi

$$N_{dv} = \frac{N_v}{\eta_{uzat}} a$$

bu erda  $\eta_{uzat} \sim$  uzatish FIK;  $a$  — dvigatelning tasodifiy o'ta zo'riqishiga qarshi zapas koefficientidir, u dvigatel quvvatiga qarab  $1,1 — 1,5$  chegarasida bo'ladi.

**2.5-§. Markazdan qochma nasoslar**

Markazdan qoshma nasoslarda suyuqlikka energiyani nasos korpusida aylanuvchi ish g'ildiragi kuraklari yordamida beriladi. Bunda parraklar orasidagi suyuqlik zarrachasi markazdan qoshma kuch ta'sirida nasos kamerasiga intiladi. Bunday harakat natijasida ish g'ildiragi markazida bosim kamayib, ta'minlovchi idishdagi suyuqlik so'rish trubasi orqali ko'tariladi va ish g'ildiragi kuraklari orasidan chiqib ketgan suyuqlik o'rniga yangi suyuqlik keladi. Nasos kamerasiga markazdan qoshma kuch ta'sirida suyuqliknинг kelishi natijasida bosim ortib, suyuqlik nasos kamerasidan haydash trubasiga ko'tariladi. Markazdan qoshma nasoslarning ishlashi shu prinsipga asoslangan bo'ladi.

Markazdan qoshma nasoslarning asosiy qismlari korpus, valga o'rnatilgan aylanuvchi ish g'ildiraklari bo'lib, valga bir yoki bir nesha ish g'ildiragi o'rnatish mumkin. Birinshi holda nasos bir g'ildirakli yoki bir bosqichli deyiladi. Ikkinci holda esa u ko'p bosqichli deyiladi. Bir bosqichli markazdan qoshma nasoslar kichik bosimli nasoslardan gruppasiga taaluqli bo'lib, bosimni oshirish uchun valga bir necha ish g'ildiragi o'rnatiladi. Bu holda bosim ish g'ildiraklari nechta bo'lsa, taxminan shuncha ortadi. Odatda, markazdan qoshma nasoslarning bosqichlarni soni o'n ikkitadan oshmaydi.

Ish g'ildiragi suyuqlikning oqishi uchun kanallar hosil qiluvchi kuraklar o'rnatilgan disk va qopqoqdan iborat. Kuraklar, odatda turli (oldinga etilgan, orqaga egilgan va radial) shakllarda bo'ladi. Markazdan qoshma nasoslarda hosil bo'lgan bosim ish g'ildiragining aylanish tezligiga bog'liq. Ish g'ildiragi bilan korpus orasida kattagina tirkish bo'lib, agar korpus suyuqlik bilan to'ldirilmasa, g'ildirak aylanishidan hosil bo'lgan siyraklanish suyuqlikni ko'tarishga etarli bo'lmaydi. Shuning uchun markazdan qoshma nasoslarni ishga tushirishdan oldin uning korpusi suyuqlik bilan to'ldiriladi. Nasosni to'ldirishda yoki qisqa vaqtga to'xtaganida suyuqlik oqib ketmasligi uchun so'rish trubasining suvgaga botirilgan qismida klapan o'rnatilgan bo'ladi.

Markazdan qoshma nasoslarning boshqa turdagи nasoslardan asosiy ustunligi ularning ixchamligidir. Bu nasoslarda turli inersiya kuchlarini vujudga keltiradigan ilgarilama-qaytma harakatning yo'qligi sababli ularning poydevori ham ixcham bo'ladi.

Natijada nasos va unga tegishli asosning, xizmat va remont ishlarining qiymati kam bo‘ladi.

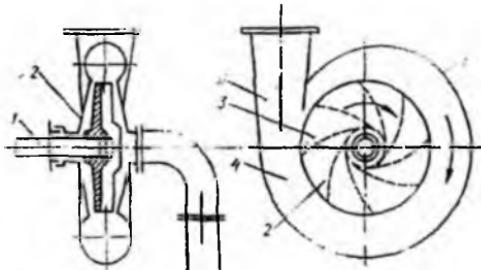
Ikkinchidan, nasosning tez-tez buzilib turishga sabab bo‘ladigan klapanlar va boshqa turli detallar bo‘lmaydi.

Uchinchidan, harakat bitta val orqali berilib, murakkab uzatuvchi mexanizmlarning hojati bo‘lmaydi.

Markazdan qoshma nasoslar bosim juda katta bo‘lmasa ham, sarf katta bo‘lishi zarur bo‘lgan hollarda ishlataladi.

## 2.6-§. Bir bosqichli markazdan qoshma nasosning sxemasi

2.1-rasmida markazdan qoshma nasosning sxemasi keltirilgan, bo‘lib, u nasosning ishlash prinsipini shartli ravishda ko‘rsatadi.



2.1 – rasm. Markazdan qochma nasos

Bunda so‘rish trubasi orqali ta’minlovchi idishdan ko‘tarilgan suyuqlik kameraning o‘rta qismiga kiradi, so‘ngra val 1 orqali harakatga keltiriluvchi ish g‘ildiragi 2 ning kuraklari 3 orasidan o‘tib, nasos kamerasi 4 ga tushadi. Bu yerda markazdan qoshma kuch ta’sirida hosil bo‘lgan bosim suyuqliknı haydash trubasiga siqib chiqaradi. Suyuqliknıg haydash trubasida ma’lum miqdordagi tezlik bilan ta’milanishi uchun o’tkazuvchi kamera, yo’naltiruvchi apparat 5 va diffuzor 6 kabi bir qancha maxsus moslamalardan foydalaniładi.

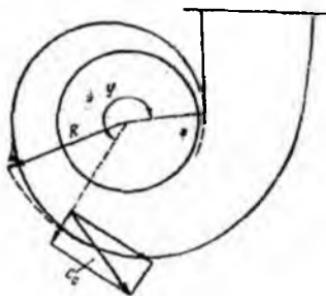
Nasosdagi so‘rilish qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathiga ta’sir qiluvchi bosim bilan so‘rish trubasidagi siyraklanish bosimi orasidagi farq hisobiga amalga oshadi. Bunda aytilgan bosimlar farqi so‘rilish balandligini, so‘rish trubasidagi qarshiliklar va

suyuqlikka tezlik berishga sarf bo'ladi. Bu tezlik suyuqlikning kameraga va so'ngra parraklar orasidagi kanalga kirishiga yordam beradi. Tabiiyki, bunda ta'minlovchi idish bilan surish trubasidagi bosimlar farqi so'rileyotgan suyuqlik bug'lar bosimidan kam bo'lmasligi kerak. Haydash balandligi markazdan qoshma nasos engishi mumkin bo'lgan eng yuqori balandlik bo'lib, g'ildirakning tashqi aylanmasidagi tezlik qancha katta bo'lsa, u ham shuncha katta bo'ladi. Aylanma tezlik esa nasos g'ildiragi diametrining kattaligi va aylanish soniga bog'liq. Nasos korpusning tuzilish ham haydash balandligining yuqori bo'lishiga katta ta'sir qiladi. Shuning uchun nasosning korpusi so'riliш yo'li, spiral yo'l va yo'naltiruvchi apparat bilan jihozlangan.

*So'rish yo'li* – korpusning so'rish trubasidan ish g'ildiragiga o'tishdagi kanalidir. Suyuqlikning nasosga so'riliш yo'lining eng yaxshi shakli o'q yo'nalishida konus ko'rinishida bo'ladi.

Tezyurarligi o'rtacha va kichik bo'lgan nasoslarda nasosga so'riliш yo'li spiral shaklda bo'lishi mumkin. Tezyurarligi yuqori bo'lgan nasoslarda esa o'q bo'yicha so'riliш tezlikni 15 – 20% oshiruvchi konfuzor orqali amalga oshiriladi. Spiral ko'rinishdagi so'rish kameralarini hisoblashda so'rish tezligi  $s_{so_r}$  g'ildirakka kirish tezligi  $s_t$  ga qaraganda ancha kichik qilib olinadi:  $c_{so_r} = (0,85 \div 0,70)c_t$

*Spiral yo'li*. Suyuqlikning nasosdan chiqish kanali spiral kamera yoki yo'naltiruvchi apparat ko'rinishida bo'ladi. Spiral kamera tuzilishi sodda bo'lgani uchun unda qarshilik yo'naltiruvchi apparatga qaraganda kam bo'ladi (ya'ni FIK katta). Lekin bu kameraning kanallarini mexanik usulda silliqlab bo'lmaydi. So'nggi vaqtarda metall quyish ancha aniq va toza bajarilgani uchun spiral kameralar ko'proq qo'llanila boshladi (hatto ko'p bosqichli nasoslarda ham qo'llanilmoqda).



2.2 - rasm. Suyuqlikning spiral  
kameradagi harakatining sxemasi



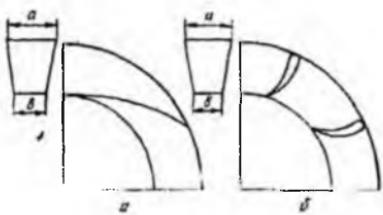
2.3 - rasm. Spiral kameraning shakllari

Ish g'ildiragidan chiqqan suyuqlik zarrachasi spiral kameraning biror qismiga kirgandan so'ng radius bo'yicha harakatlanishini davom ettirish bilan birga, aylanma harakat qilib chiqish tomonga (2.2-rasm) intiladi va o'zidan keyin kelayotgan zarrachaga o'z o'rnni bo'shatib beradi. Spiral kamerani hisoblashda aylana tezlikning tegishli radius vektorga ko'paytmasi o'zgarmas deb qabul qilinadi. Natijada spiral kamerada suyuqlik tezligi chiqishga qarab kamayib boradi. Bu nasosning ishlashiga yaxshi ta'sir qiladi va tezlikning kamayishi potensial energiyaning ortishiga olib keladi. Bunda tabiiyki, tezlikning kamayib borishiga kesimning ortib borishi ta'sir qiladi. Spiral kameraning shakllari turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, 2.3-rasmda tasvirlangan *a* va *b* kesimlar.

Odatda spiral kamerada tezlik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$c_c = k_s \sqrt{2gH},$$

bu yerda  $k_s$  – tezyurarlik koeffisientiga bog'liq bo'lib, 0,45 dan 0,2 gacha o'zgaradi.



2.4 - rasm. Yo'naltiruvchi apparat

Yo'naltiruvchi apparatda suyuqlik zarrachalari to'g'ri chiziqli yunalishdan og'ib, apparat parraklariga bosadi va uni ish g'ildiragi o'qi atrofida aylanishga majbur qiladi. Kuraksiz yo'naltiruvchi apparatlarda suyuqlikka radial yo'nalishga yaqin tezlik berib

bo'lmaydi. Shuning uchun bunday apparatlar kamroq qo'llaniladi. Parrakli yo'naltiruvchi apparatlarda esa suyuqlik zarrachalariga ish g'ildirigidan chiqqandagi tezlikdan tamom farqli tezlik beriladi. Bundan tashqari, bir xil diametrda kuraksiz yo'naltiruvchi apparatga nisbatan tezlikni ko'proq kamaytirib, kinetik energiyani potensial energnyaga ko'proq aylantirish mumkin.

Yo'naltiruvchi apparatning tuzilishi ish g'ildirigidan chiqqan suyuqliknинг haydash trubasiga kirishini osonlashtiradi.

### 2.7-§. Nasos va turbinalar uchun Eyler tenglamasi

Nasoslardagi kabi turbinalarda ham asosiy qism ish g'ildiragi bo'lib, u suyuqlik energiyasi yordamida harakatga keladi. Bunda turbinadan o'tayotgan suyuqlik uning kuraklariga ma'lum kuch ta'sirida bosim beradi va uning aylanma harakat qilishiga sabab bo'ladi. Bu harakat esa keyinchalik generator rotorini aylantiradi. Gidravlika bo'limidagi kabi nasos va turbinadagi harakatni ham bir o'chovli harakatga keltirib, ish g'ildiragidagi suyuqlik massasining harakati elementar oqimcha harakatiga o'xshatib qaraladi.

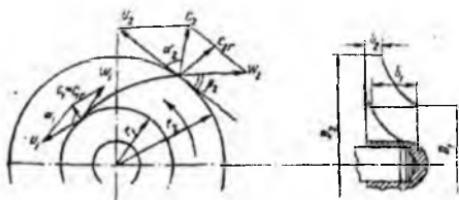
Aytig'an usul bilan markazdan qoshma nasos uchun tenglamani 1755 y. L. Eyler chiqargan bo'lib, keyinchalik kurakli mashinalar nazariyasida asosiy tenglama deb atala boshladi, so'ngra u turbinalar va boshqa turdag'i kurakli mashinalarga ham qo'llanila boshladi. Eyler tenglamasi ish g'ildiragining geometrik va kinematik xarakteristikalarini nasos hosil qilgan bosim bilan bog'laydi. Bu tenglama quyidagi ikkita masalani hal qilishga yordam beradi:

- 1). berilgan sarf va hosil qilinishi kerak bo'lgan bosim bo'yicha ish g'ildiraklari soni va uning o'chamlarini topish;
- 2). berilgan ish g'ildiragi va valning aylanish soni bo'yicha sarf va hosil bo'ladigan bosimni hisoblash,

Tenglamani chiqarishda:

- 1) kuraklarning chekliligi hisobga olinmaydi;
- 2) kuraklar orasidagi barcha kanaldan o'tayotgan suyuqliklar bir xil sharoitda oqadi deb qaraladi. Ana shunday soddalashtrishlar bilan hisoblanishiga qaramay natija juda to'g'ri chiqadi.

Endi markazdan qoshma nasos ish g'ildiragini hosil qilgan bosimini hisoblaymiz. Buning uchun g'ildirak kanallaridan (2.5-rasm) ko'ramiz. Suyuqlik so'rish trubasidan kanalga,  $s_1$  tezlik bilan keladi. Nazariy hisoblashda yo'qotish bo'lmasin uchun u kanalga «gidravlik zarbasi» kiradi deymiz.



2.5 - rasm. Ish g'ildiragida olingan nazariy bosimiga doir sxema

anlanma tezligi  $u_2$  nisbiy tezligi  $w_2$  bo'ladi. Kirishda bosim  $p_1$  chiqishda  $p_2$  bo'lsa, u holda kanalning kirish va chiqish kesimlari uchun Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} = H_k + h_{1-2}, \quad (13.1)$$

bu yerda  $h_{1-2}$  – ikki kesim orasidagi gidravlik yo'qotish;  $H_k$  – kanaldagi harakat vaqtida markazdan qoshma kuch hisobiga bosimning ortishi.

Bosimning energetik ma'nosini nazarga olsak,  $H_k$  markazdan qoshma kuch hisobiga hosil bo'lgan energiyani bildiradi. Bu energiya kinetik energiyaning ko'p ortib, potensial energiya (bosim energiyasi) ning kam ortishi yoki potensial energiya ko'p ortib, kinetik energiya kam ortishi ko'rinishida namoyon bo'ladi. Birinchi holda ish g'ildiragini aktiv, ikkinchi holda esa reaktiv deyiladi. Bunday nomlanish turbinalarda ko'proq qo'llaniladi (aktiv va reaktiv turbinalar). Aktivlikning chegarasi  $p_1 = p_2$  tenglikning bajarilishi, reaktivlikning chegarasi esa  $\frac{c_1^2}{2g} + \frac{c_2^2}{2g}$  ning bajarilishi bilan baholanadi.

Markazdan qoshma kuch hosil qilgan energiya uning  $r_2 - r_1$  masofada bajargan solishtirma (birlik og'irlilikdagi suyuqlik uchun) ishga teng bo'ladi. Agar ish g'ildiragining burchak tezligi  $\omega$  bo'lsa, u holda og'irligi  $G$  massasi  $m$  bo'lgan suyuqlik

Bu degan so'z, kirishdagi tezlik  $s_1$  kattaligi va yo'nalishi bo'yicha kanalning boshlanishidagi absolyut tezlikka, ya'ni aylanma tezlik  $u_1$ , va kurakka nisbatan nisbiy tezlik  $w_1$  lardan tuzilgan parallelogramm diagonaliga teng. Kanaldan chiqishda suyuqlikning absolyut tezligi  $s_2$ ,

zarrasiga ta'sir qiluvchi markazdan qoshma kush  $m\omega^2 r$  yoki  $\frac{G}{g}\omega^2 r$  ga teng bo'ladi. U

holda  $r_2 - r_1$  masofada bajarilgan ish

$$A = \int_{r_1}^{r_2} \frac{G}{g} \omega^2 r dr = \frac{G\omega^2}{2g} (r_2^2 - r_1^2)$$

ga teng. Burshak tezligi  $\omega$ ning radius  $r$  ga ko'paytmasi aylanma tezlik  $u$  ga teng, shuning uchun

$$\omega^2 r_2^2 = u_2^2 \quad \omega^2 r_1^2 = u_1^2$$

Bu holda

$$A = G \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$

A ni Gga bo'lib, solishtirma ish yoki  $H_k$  ni topamiz.

$$H_k = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$

Buni (13.1) tenglamaga qo'yib, quyidagi tenglikni olamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + h_{k-2}, \quad (13.2)$$

Ish g'ildiragi kanaliga kirish oldidagi bosim:

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g},$$

g'ildirakdan chiqish ortidagi bosim

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{k-2}$$

ga teng. U holda kirish va chiqishdagi bosimlarning farqi quyidagicha hisoblanadi:

$$H = H_2 - H_1 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{k-2} - \left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} \right).$$

Bir xil indeksli hadlarni tenglikning ikki tomoniga gruppallasak, u holda quyidagi tenglamani olamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{k-2} H. \quad (13.3)$$

Endi (13.2) dan (13.3) ni ayirsak, ushbu munosabatga ega bo'lamiz:

$$\frac{w_1^2}{2g} - \frac{c_1^2}{2g} = \frac{w_2^2}{2g} - \frac{c_2^2}{2g} - \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + H$$

Bu tenglikdan kirish va chiqishdagi bosimlarning farqini topsak, u quyidagiga teng bo‘ladi:

$$H = \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}. \quad (13.4.)$$

Ish g‘ildiragi kanaliga kirish va undan chiqishdagi tezlik parallelogrammlardan foydalansak

$$w_1^2 \approx u_1^2 c_1^2 - 2u_1 c_1 \cos \alpha_1$$

$$w_2^2 = u_2^2 + c_2^2 - 2u_2 c_2 \cos \alpha_2.$$

Bularni (13.4) ga qo‘yib, ba‘zi soddalashtirishlardan keyin ushbuni olamiz:

$$H = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{2g}. \quad (13.5.)$$

Shunday qilib, kirish va chiqishdagi bosimlarning farqi yoki, boshqacha aytganda, suyuqlikning ish g‘ildiragidan olgan bosimi (13.5) munosabat yordamida aniqlanadi va u markazdan qochma mashinalarning asosiy tenglamasi yoki Eyler tenglamasi deyiladi. Bu tenglama harakat miqdori momentlari teoremasidan foydalanim ham chiqarilishi mumkin.

## 2.8-§. Nasosning nazariy bosimi. Kuraklar egriligining bosimga ta’siri

Yuqorida keltirilgan Eyler tenglamasi barcha kurakli mashinalar uchun umumiyl bo‘lib, bir qancha soddalashtirishlar kiritilgandan keyin olingan. Haqiqatda esa, ish g‘ildiragi kuraklari orasidagi harakat ancha murakkabdir. Shuning uchun (13.5) tenglama yordamida hisoblangan bosim nazariy bosim deyiladi. Bu tenglamani nasosga qo‘llaganda  $\alpha_1 = 90^\circ$  deb qabul qilish kerak. Chunki, odatda, suyuqlik so‘rish trubasi va so‘rilih yo‘li orqali o‘tib, ish g‘ildiragi kanaiga radial yo‘nalishda kiradi. Bu kanalga zarbasisiz kirishni ta’minlaydi. Shuning uchun Eyler tenglamasi nasoslarga quyidagi ko‘rinishida qo‘llaniladi:

$$H_s = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_1}{g} \quad (13.6)$$

Bu tenglama nasos ish g‘ildiragi suyuqlikka bergen bosimning nazariy tenglamasi yoki markazdan qoshma nasoslarning asosiy tenglamasi deb ataladi. Bu tenglamada  $u_2$  aylana tezlik  $s_2 \cos \alpha_2$ , esa absolyut tezlikning aylana tezlik yo‘nalishiga proyeksiyasi ekanligini nazarda tutish kerak.

Asosiy tenglama (13.6) dan ko‘rinib turibdiki,  $u_2$  va  $s_2$  faqat bosimga bog‘liq bo‘lib, nasosdan o‘tayotgan suyuqlik miqdoriga bog‘liq emas. 2.5 – rasmida keltirilgan tezlik parallelogramidan foydalanib (13.6) dan  $s_2$  ni yo‘qotish mumkin. Nasos g‘ildiragi kuragining chiqishdagi yo‘nalishi (yoki chiqishdagi nisbiy tezlik yo‘nalishi) aylanla tezlik yo‘nalishi bilan  $\beta$  burchak tashkil qiladi. Tezlik parallelogramidan ko‘rinadiki (2.5-rasm),  $u_2$  bilan  $s_2$  o‘rtasida quyidagi munosabat mavjud:

$$c_2 \cos \alpha = u_2 - w_2 \cos \beta_2$$

Bu tenglikni (13.6) ga qo‘ysak, ushbu ko‘rinishga keladi

$$H_n = \frac{u_2^2}{2g} \left( 1 - \frac{w_2^2}{u_2^2} \cos \beta_2 \right) \quad (13.7)$$

Oxirgi tenglamadan ko‘rinadiki, nasosning nazariy bosimi ish g‘ildiragi aylanishlari soni kvadratiga proporsional (shunki  $u_2 = \pi d_2 n$ ) va kuraklar shakliga bog‘liq ekan.

Bunda uchta holni ko‘rish mumkin:

- 1. Kuraklar ish g‘ildiragi aylanishi tomoniga egilgan, ya’ni  $\beta_2 > 90^\circ$  va  $\cos \beta_2 < 0$ .** Bu holda (13.7) tenglamada qavs ichidagi miqdor birdan katta:  $H_n > \frac{u_2^2}{2g}$ .
- 2. Kuraklar ish g‘ildiragi aylanishiga teskari egilgan, ya’ni  $\cos \beta_2 > 0$  va  $\cos \beta_2 > 0$ .** Bu holda (13.7) da qavs ichidagi miqdor birdan kishik:  $H_n < \frac{u_2^2}{2g}$
- 3. Kuraklar radial yo‘nalishiga ega, ya’ni  $\beta_2 = 90^\circ$  va  $\cos \beta_2 = 0$ .** Bu holda qavs ichidagi miqdor birga teng:  $H_n = \frac{u_2^2}{2g}$

Ko‘rinib turibdiki, nazariy bosimning eng katta qiymati kuraklar ish g‘ildiraklari aylanishi tomoniga egilganda bo‘lib, eng kichik qiymat teskariga egilganda bo‘ladi. Leknn  $\beta_2$  ning qiymati ortgan sari gidravlik yo‘qotishlar ortib, nasosning gidravlik FIK i kamayib ketadi. Shuning uchun amalda nasoslarda nazariy bosim kam bo‘lishiga qaramay,  $\beta_2$  ni  $90^\circ$  dan kichik qilib olinadi. Amalda eng ko‘p qo‘llaniladigan burchaklar  $16^\circ$  dan  $40^\circ$  gacha qiymatlarda olinadi. Albatta  $\beta_2$  ning kichrayishi ish g‘ildiragining “reaktiv” ligini oshiradi. Bu esa turbinalar nazariyasida qo‘l keladi va aylanish sonining ortishiga sabab bo‘ladi.

## 2.9-§. Foydali bosim

Ish g'ildiragiga kirish va undan chiqishda parraklar orasidagi kanalning kengayib borishidan, kuraklar egriligining ortishi natijasida sirkulyasiya hosil bo'lishidan va boshqa sabablarga ko'ra nazariy bosimning bir qismi sarf bo'ladi. Natijada nasosning amaliy bosimi nazariy bosimga qaraganda kamroq bo'ladi. Nasos ish g'ildiragidan amalda olinadigan bosim amaliy bosim deyiladi va  $H_a$  bilan belgilanadi.

Amaliy bosimning nazariy bosimga nisbati nasosning gidravlik foydali ish ko-effisientini beradi:

$$\eta_g = \frac{H_a}{H_n}$$

Gidravlik FIK 0,8 bilan 0,95 o'rtaida o'zgaradi va yuqorida aytilgan sabablarning ta'siriga qarab turli qiymatlarni qabul qiladi. Shunday qilib

$$H_a = \eta_g H_n = \eta_g \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (13.8)$$

yoki gidromashinalar uchun umumiy tenglama ko'rinishida

$$H_a \eta_g = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{g}$$

Yuqorida keltirilgan bosim tenglamalariga ish g'ildiragidagi kuraklar soni kirmaydi. Haqiqatda esa, kuraklar sonining yoki kam bo'lishiga qarab, ular orasidagi kanal turlicha bo'ladi. Bu esa o'z navbatida bosimga ta'sir qilmay qolmaydi. (13.8) tenglik yordamida hisoblangan bosim kuraklar soni sheksiz ko'p bo'lgan holga to'g'ri keladi, chunki u kanallarda oqayotgan suyuqlikning barcha zarralari bir xil trayektoriya bo'yicha harakat qilgan holi uchun o'rnlidir.

Kuraklar sonini bosim tenglamasiga kiritish yo'li bilan nasosning foydali bosimi uchun tenglama olish mumkin:

$$H_f = H_n \eta_g \varepsilon,$$

bu yerda  $\varepsilon$  – nasos kuraklari soni sheklilagini hisobga oluvchi koefisient bo'lib, u 0,6 — 0,8 ga teng.

Kuraklar sonining bosimga ta'sirini nazariy hisoblashga intilishlar natijasi tajriba natijalaridan uzoq bo'lib, amaliy ahamiyatga ega emas. Kuraklar ma'lum darajada siyrak joylashganda  $\varepsilon$  uchun tajribaga yaqin keluvchi quyidagi munosabatni keltirish mumkin:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \sigma}$$

No'malum koeffisient  $\sigma$  ni hisoblash uchun G.F. Proskurin quyidagi formulani taklif qiladi.

$$\sigma = 2^{\frac{\varphi}{z}} \frac{1}{1 - \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2}$$

bu yerda  $z$  – kuraklar soni;  $d_1, d_2$  – ish g'ildiragining ichki va tashqi diametrlari;  $\varphi$  – g'adir-budirlik va kinematik qovushoqlik koeffisientini hisobga oluvchi koeffisient bo'lib, tajribadan aniqlanadi.

A. A. Lomakin  $\varphi$  ni hisoblash uchun quyidagi formulani taklif qiladi:

$$\varphi = (0,55 \div 0,65) + 0,6 \sin \beta_2$$

Keltirilgan usulda tekshirish natijasida kuraklar sonini taxminan aniqlash mumkin. Kuraklarning aniq soni tajribada aniqlanadi. Kuraklarning eng qulay sonini topish uchun K. Pfeyderer ushbu formulani keltiradi:

$$z = 2k \frac{r_m}{l} \sin \beta_m$$

bunda  $r_m$  – kuraklar og'irlilik markazining radiusi;  $\beta_m$ ,  $\beta_1$  va  $\beta_2$  larning o'rta arifmetik miqdori;  $l$  – kuraklar uzunligi;  $k$  – koeffisient (uni 6,5 ga teng deb olish mumkin). Radial kuraklar uchun

$$z = 6,5 \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \sin \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

Kuraklar soni, odatda, 6 tadan 12 tagacha bo'ladi. Yo'naltiruvchi apparat kuraklarining soni ish g'ildiragi kuraklarining soniga teng bo'lmaydi.

## 2.10 - §. Nasosda energiyaning yo'qotilishi. Nasosning foydali ish koeffisienti

Odatda, nasosga berilgan energiya nasosdan olingan energiyaga nisbatan ko'p bo'lib, ularning farqi energiyaning yo'qotilishini ko'rsatadi. Bu yo'qotish ush xil yo'qotishdan tarkib topadi:

- 1) mexanik yo'qotish;
- 2) hajmiy yo'qotish;
- 3) gidravlik yo'qotish.

*Mexanik yo'qotish* valga berilgan energiya bilan ish g'ildiragi kuraklarining suyuqlikka bergan energiyasining farqini bildiradi. Agar valga berilgan energiyani E deb belgilasak, u holda quyidagi nisbat

$$\eta_{\text{mex}} = \frac{H_u}{E} \quad (13.10)$$

mekanik yo'qotishni baholovchi, mekanik foydali ish koeffisienti deyiladi. Mekanik yo'qotishning asosiy turlari podshipnik va sal'nikda ishqalanish kuchini yengish uchun sarf bo'lgan yo'qotishdan iborat. Podshipnikdagi dumalash ishqalanishini gidrodinamik moylash nazariyasidagi Petrov formulasi yordamida topish mumkin:

$$T = \mu \frac{u}{\delta} 2\pi l$$

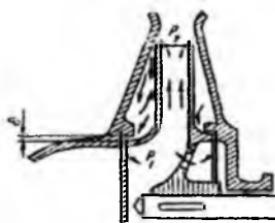
bu yerda  $\mu$  – dinamik qovushoqlik koeffisienti;  $u = \omega r$  val bo'yinchasining aylana tezligi;  $l$  – val bo'yinchasining uzunligi;  $\delta$  – podshipnikdagi radial tirqish o'lchami.

Hozirgi zamон mashinalaridagi podshipnik va salniklar juda takomillashgan bo'lib, ulardagi yo'qotish valga berilgan energiyaning 2–3% ni tashkil qiladi. Shuning uchun salnik tiqilmalari to'g'ri qo'yilgan, to'g'ri markazlangan. Yaxshi moylangan va podshipnigi ifloslanishdan saqlangan yangi nasoslarda mekanik foydali ish koeffisienti  $\eta_{\text{mex}} = 0,97\text{--}0,98$  ga teng bo'ladi. Agar sal'nik tiqilmasi juda qattiq tortilgan bo'lsa va podshipniklar yaxshi bo'lmasa,  $\eta_{\text{mex}}$  ni bunday aniqlab bo'lmaydi.

*Hajmiy yo'qotish* nasos so'rayotgan suyuqlikka sarflangan energiya bilan nasosdan chiqarilayotgan suyuqlik energiyasining farqini bildiradi. Hajmiy yo'qotishi chiqarilayotgan suyuqlik miqdorining so'rileyotgan suyuqlik miqdoriga nisbatini ko'rsatuvchi hajmiy FIK bilan baholanadi:

$$\eta_h = \frac{Q_{\text{chiq}}}{Q_{\text{so'r}}} \quad (13.11)$$

So'rileyotgan va chiqarilayotgan suyuqlik miqdorlarining farqi nasos korpusidan chiqib ketuvchi yoki ish diskini atrofida aylanuvchi suyuqlik miqdoriga teng. Suyuqlik nasos sal'nigi, g'ildirakning so'riliш tomonidagi tig'izlagich va o'qiy bosimni muvozanatlovchi tirqish orqali yo'qolishi mumkin.



2.6- rasm. Hajmiy yo'qotishlarni tushuntirishga doir chizma

Valning salnigidagi yo'qotish salnik tiqilmasining zichlanganligiga bog'liq bo'lib, ayrim tomchilar ko'rinishida oqib chiqsa o'rinnli bo'ladi. Agar tiqilma qattiq zichlansa, salnik qizib ketishi, bo'sh bo'lsa suyuqlik ko'p oqib ketib, hajmiy FIK kamayib ketishi mumkin. Suyuqlik ko'proq so'riliш tomonidagi zichlanish (2.6-rasm) orqali

oqib ketadi. Shuning uchun shu joydan oqib ketuvchi suyuqlik sarfini hisoblaymiz. Suyuqlik ish g'ildiragiga  $p_1$  bosim bilan kirib  $p_2$  bosim bilan chiqadi. Bu g'ildirak bilan korpus orasida bo'shliq ochiq bo'lgani uchun so'rish tomonidagi zichlanish tirkishining ikki tomonida ikki xil  $p_1$  va  $p_2$  bosim bo'ladi.

Shunga asosan teshiklardan oqib ketuvchi suyuqlik sarfini topish formulasidan foydalamiz:

$$Q_c = mw \sqrt{2g \frac{p_1 - p_2}{\gamma}} \quad (13.12)$$

Tirkishning kengligi  $\delta$ , uzunligi  $l$  deb qabul qilib, halqa tirkishdan sizib ketish uchun sarf koeffisientini yozamiz:

$$m = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda \gamma}{2\delta} + 1,5}}$$

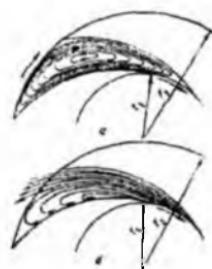
$\lambda$  koeffisientining qiymati  $0,04 - 0,08$  atrofida olinadi.

Tirkishning kengligi quyidagi chegaraga bo'ladi.

$$\delta = 0,2 \div 0,3 \text{ mm.}$$

Hajmiy FIK  $\eta_x = 0,95 \div 0,96$  ga teng bo'lib, so'rيلayotgan suyuqlikning taxminan  $4 - 5\%$  yo'qotiladi.

*Gidravlik yo'qotish* esa so'rish va haydash trubalarida barcha qarshiliklarni yengishga, nasos kuraklarining chekliligi, g'ildirak va korpusidagi kanallarda hamda diskda ishqalanish va boshqalarga sarf bo'lgan energiyani bildiradi. U nasosga kirish oldidan o'rnatilgan vakuummetr ko'rsatgan bosim  $p_{man}$  va chiqishda o'rnatilgan manometr ko'rsatgan bosim orqali quyidagi formula yordamida aniqlangan



2.7. Rasm. Ish g'ildiragi kuraklari orasidagi harakatning notejisligiga dojr chizma

Bosim bilan (13.6) formuladan hisoblangan nazariy bosimning farqi orqali aniqlanadi

$$\Delta H = H_n - H'$$

Gidravlik yo'qotish gidravlik FIK i

$$\eta = \frac{H_n - \Delta H}{H_n} = \frac{H'}{H_n}$$

yordamida baholanadi.

Gidravlik yo'qotishning kattaligiga

g'ildirak kanallaridagi tezlikning notekisligi katta ta'sir qiladi. Ish g'ildiragi kanallaridagi tezlikning notekisligini ko'z oldimizga keltirish uchun kanal tamom yopiq bo'lganda (2.7-rasm, a) va qisman yopiq bo'lgandagi (2.7-rasm, b) harakatni ko'z oldimizga keltiramiz. Birinchi holda kanalda suyuqlik g'ildirak aylanishiga teskari yo'nalihsda sirkulyasion harakat qiladi. Ikkinchi holda kanalning botiq devorida harakat oqimcha shaklida bo'lib, qavariq devorida uyurmali harakat paydo bo'ladi. Natijada qavariq devor tomonidan bosim kamayib, kavitaliya hodisasini vujudga keltiradi. Kavitaliya natijasida gidravlik yo'qotish ko'payib ketadi. Nasoslarda energiyaning umumiy yo'qotilishi foydali ish koeffisienti yordamida hisoblanish mumkin.

Umumiy FIK mexanik, hajmiy va gidravlik foydali ish koeffisientlarining ko'paytmasiga teng:

$$\eta = \eta_m \eta_h \eta_g$$

Hozirgi zamon nasoslaridan to'g'ri foydalanilsa, FIK 0,9 ga etadi.

Energiyaning umumiy miqdorini hisoblash uchun nasosning suyuqlikka bergan foydali energiyasi bilan FIK ini bilish kerak. Shu holda

$$E = \eta E_f = \eta H^*$$

Har xil nasoslar uchun foydali ish koeffisientlari grafik va jadval ko'rinishida beriladi.

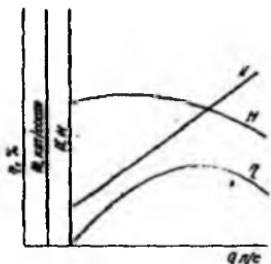
## 2.11-§. Markazdan qochma nasoslarning xarakteristikalari

Nasoslarni ishlatalishda ulardan berilgan sharoitda eng yaxshi foydalanish maqsadga muvofiqdir. Buning uchun turli sharoitda nasosning qanday ishlashi to'g'risida ma'lumot bo'lishi kerak. Bunday ma'lumot nasoslarning harakteristikalari ko'rinishida beriladi.

Bosim, quvvat va foydali ish koeffisientining sarfga bog'liqlik grafiklari nasosning xarakteristikalari deb ataladi:

$$H = f_i(Q); \quad N = f(Q); \quad \eta = f(Q).$$

Odatda, xarakteristika nasosni sinash (tajriba) yordamida tuziladi. Buning uchun nasosning aylanish sonini o'zgartirmasdan, haydash trubasiga o'matilgan berkitkishni surish yo'li bilan bosimni o'zgartirsak, uning ishslash tartibi ham o'zgaradi. Natijada quvvat va foydali ish koeffisienti ham o'zgaradi. Xarakteristikani tuzish uchun sinashni berkitish to'liq yopilgan holatdan boshlab, oshib boramiz va bosim, quvvat va FIKning sarf bo'yicha o'zgarishini 2.8-rasmda ko'rsatilgandek grafiklar tuzamiz.



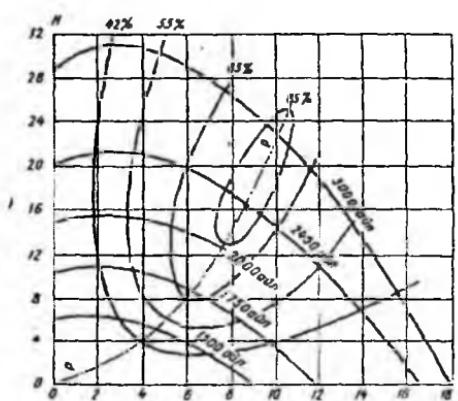
### 2.8-rasm. Markazdan qochma nasoslarining taxminiy ish xarakteristikasi

susayishi mumkin. FIK grafigi noldan boshlanadi va sarfning ma'lum bir miqdorlarida maksimumga ega bo'ladi.

Nasosning shu aylanish sonida eng yaxshi ishlashi FIK grafigining maksimum miqdoriga to'g'ri keladi.

2.8-rasmda keltirilgan grafirlarning xarakteri to'g'risida nazariy usul bilan ham xulosa chiqarish mumkin, lekin bu nazariy hisoblarning natijasi amaliy ahamiyatga ega emas.

Nasoslardan foydalanishda turli aylanish sonlari uchun umumlashtirib tuzilgan va universal xarakteristika deb ataluvchi  $Q - H$  xarakteristikadan foydalanish qulaydir.



### 2.9. - rasm. Markazdan qoshma nasoslarning universal xarakteristikasi

Grafiklardan ko'rindiki, berkitgich yopiq holatida ( $Q = 0$ ) nasos ma'lum bosim hosil qiladi va u berkitgichning ochilishi bilan kamayib boradi (boshlanishda bosim bir oz ortib borib, maksimumga etishi va so'ngra kamayib ketishi mumkin). Quvvat esa ortib boradi va chiziqli ortishga yaqin bo'ladi. Sarfning katta qiymatlarida bu ortish bir oz maksimumga ega bo'ladi.

Bunday xarakteristikani xosil qilish uchun turli aylanish sonlari ( $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ )da  $Q - H$  xarakteristikani tuzamiz (2,9-rasm). So'ngra bu xarakteristikani biror FIK ga tegishli nuqtalarini ajratamiz (2,8-rasmda ko'rindiki, bitta FIK ning qiymati uchun ikkita bosim miqdori to'g'ri keladi). Bu nuqtalar tutash chiziq bilan birlashtiramiz. Shu ishni bir qancha FIK chiziqlar bilan chegaralangan soxada FIK cchizig'idagi qiymatdan kichik bo'lmaydi. p - p chizig'i berilgan aylanish sonlarida maksimal FIK ga to'g'ri keladi. Universal

xarakteristikadan foydalanimi nasosning (maksimal FIK ga tegishli) ishlash chegarasini topish va uning ishlashi uchun eng qulay tartib tanlash mumkin.

## 2.12- §. Nasoslarning o'xshashligi asoslari.

Loyihalanyotgan yoki ishlab chiqarishga joriy qilinayotgan ma'lum bir seriya nasoslarni yuqorida aytilgandek sinash juda ko'p vaqt va xarajat talab qiladi. Shuning uchun ana shu seriya nasoslarning modelini sinaladi. So'ngra modelda olingan natijalar naturaga ko'chiriladi.

Avvalo natura va model geometrik o'xshash bo'ladi, ya'ni ularning o'lcamlari bir xil miqdorda kichraytirilgan bo'ladi. Boshqacha aytganda ishchi g'ildiragi diametrleri kuraklari qalinligi va kengligining nisbatlari bir xil bo'ladi.

$$\frac{d_{1n}}{d_{1m}} = \frac{d_{2n}}{d_{2m}} = \frac{\delta_n}{\delta_m} = \frac{b_{1n}}{b_{1m}} = \frac{b_{2n}}{b_{2m}} = const,$$

Bu yerda "n" indeksi naturaga, "m"-modelga tegishlilikni bildiradi.

Ikkinochi, natura va modeldag'i oqimlar o'xshash bo'ladi. Oqimlar o'xshash deganda ish g'ildiragiga kirish va chiqishdag'i tezlik uchburchaklari o'xshash bo'ladi:

$$\frac{u_{1n}}{u_{1m}} = \frac{u_{2n}}{u_{2m}} = \frac{w_{1n}}{w_{1m}} = \frac{w_{2n}}{w_{2m}} = \frac{c_{1n}}{c_{1m}} = const.$$

Agar modellanganda geometrik o'lcamlari nisbati  $\lambda$  ga teng bo'lsa, u xolda

$$\frac{u_{1n}}{u_{2m}} = \frac{w_{1n}r_{1n}}{w_{2m}r_{2m}} = \frac{r_{1n}}{r_{2m}} \frac{n_n}{n_m} = \lambda \frac{n_n}{n_m}$$

bo'ladi. Bu nisbat yuqoridagi tengliklarga asosan boshqa tezliklar ushun ham to'g'ridir.

Olingan munosabatlarni sarf formulasi (12.13) ga qo'llasak, quyidagi munosabatni olamiz:

$$\frac{Q_n}{Q_m} = \lambda^3 \frac{n_n}{n_m}. \quad (13.13)$$

Nasoslar uchun asosiy tenglama (13.6) dan

$$\frac{H_n}{H_m} = \lambda^2 \frac{n_n^2}{n_m^2} \quad (13.14)$$

Quvvat formulasi (13.13) va (13.14) dan

$$\frac{N_n}{N_m} = \lambda^5 \frac{n_n^3}{n_m^3} \quad (13.15)$$

Shunday qilib, nasoslar o'xshashligi quyidagi xulosaga olib keladi:

1. Natura va modeldag'i sarflar nisbati aylanish sonlari nisbatiga proporsional.
2. Bosim nisbati aylanish sonlari kvadratlarning nisbatiga proporsional.
3. Quvvatlar nisbati aylanish sonlari kublarning nisbatiga proporsional.

Bu olingan teglamalar yoki, boshqacha aytganda o'xshashlik munosabatlari yangi seriya nasoslar yaratishda va mavjud nasoslarni ishlatalishda muxim axamiyatga ega.

Ishlab chiqarishda, ko'pincha, o'xshashlik munosabatlarini qo'llab muayyan sharoitda nasos tanlash va unga mos dvigatel tanlash masalalarini hal qilishga to'g'ri keladi.

### 2.13- §. Tezyurarlik koeffisienti va kurakli nasoslarning turlari.

Markazdan qoshma nasoslarni bir-biri bilan tezyurarlik koeffisient yordamida solishtirish mumkin. Tezyurarlik koeffisienti, boshqacha aytganda solishtirma aylanish soni deb shunday aylanish soniga aytildiki, u bosim bir metr ( $H = 1 \text{ m}$ ) bo'lganda nasos berayotgan suyuqlikka bir ot kuchi ( $0,735 \text{ kVt}$ ) ga teng energiya berishga imkon beradi va  $n_s$  harfi bilan belgilanadi.

Shunday qilib, tezyuraralik koeffisienti nasosning suyuqlikka berilgan energiyasining baholash uchun foydalanishga va shu yo'l bilan turli nasoslarni bir-biriga solishtirish imkon beradi.

Foydali quvvat formulasini

$$N = \frac{\gamma Q H}{75}$$

dan foydalanib birlik nasosning sarfini topamiz.

$$Q_m = \frac{75N}{\gamma H} = \frac{751}{10001} = 0,075 \text{ m}^3 / \text{c}$$

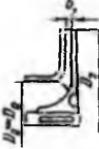
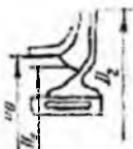
Birlik nasos model bo'lsa, uni natura nasosga (13.13) formula yordamida solishtirib, sarf formulasini shiqaramiz:

$$Q = 0,075 \lambda^3 \frac{n}{n_s}. \quad (13.16)$$

Bu formulani chiqarishda model va naturada FIK bir xil deb qabul qilinadi.

Tezyurarlik koeffisientining qiymatiga qarab nasoslar quyidagicha klassifikasiyalanadi:

ns qiymatining chegarasi	Markazdan qoshma nasosning turi
40 ÷ 80	sekinyuror
80 ÷ 150	o'rtacha

150 + 300		tezyurar		
300 + 600		vintli (diagonal)		
600 + 1200		o'qiy (parrakli)		
Markazdan qoshma nasoslar			Diagonal nasos	Parrakli nasos
Sekinyurar g'ipdirak	Oddy g'ipdirak	Tezyurar g'ipdirak	g'ipdirak	g'ipdirak
				
$n_{SI} = 40 + 80$	$n_{SI} = 80 + 150$	$n_{SI} = 150 + 300$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1,8 + 1,4$	$n_{SI} = 300 + 600$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1,2 + 1,1$	$n_{SI} = 600 + 1200$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 0,8$

2.10 - rasm. Nasoslarning tezyurarlik koeffisientiga qarab guruhlash

Bosim uchun o'xshashlik formulasi (13.14) ni ( $H = 1$  m ekanini nazarda tutib) quydagicha yozish mumkin:

$$H = \lambda^2 \frac{n^2}{n_s^2}, \quad (13.17)$$

(13.16) va (13.17) tenglamalardan  $\lambda$  ni yo'qotib va hosil bo'lgan tenglamani tezyurarlik koeffisienti  $n_s$  ga nisbatan yechib, ushbuga ega bo'lamiz:

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/14}}. \quad (13.18)$$

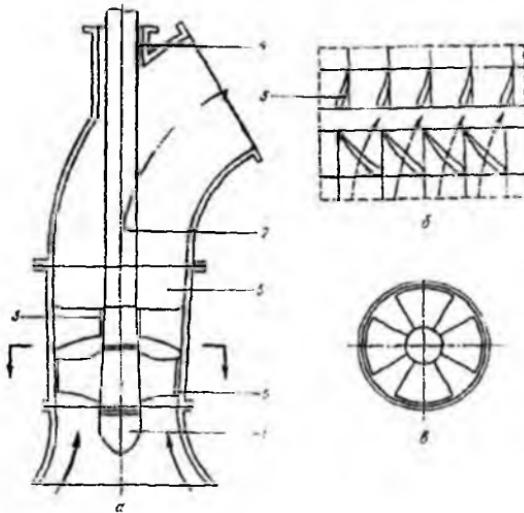
Bu formuladan ko'rindik, natura nasosning aylanish soni tezyurarlik koeffisientiga proporsionaldir. Bundan xulosa qilib aytish mumkinki, aylanish sonining (ya'ni tezyurarlik koeffisientining) ortishi bilan nasosning o'lchamlari va og'irligi kamayadi (2.10-rasm).

2.10-rasmda nasoslarning tezyurarligiga qarab ish gildiragi o'lchamlarining kamayib borishi ko'rsatilgan. Tezyurarligi kichik nasoslarga yuqori bosim hosil qiluvchi, masalan, ko'p bosqichli va kam sarf beruvchi nasoslar kiradi. Katta tezyurarlikka ega bo'lgan nasoslar esa kichik bosim hosil qilib, yuqori sarf beradi (masalan parrakli nasoslar).

## 2.14- §. O'qiy nasoslar

Nasosning tezyurarligini oshirish borasida olib borilgan ishlar o'qiy (parrakli) nasoslarning yaratilishiga olib keldi. Tezyurarlikni oshirish, yuqorida aytigelanidek, ish g'ildiragi chiqish va kirish diametrlarining nisbatini va  $\beta_3$  burchakni kamaytirish yo'li bilan amalga oshiriladi. Natijada  $D_2 - D_1$  bo'lgan o'qiy nasos paydo bo'ladi. O'qiy nasosning sxemasi 2.11-rasmda keltirilgan. Bu nasosning parraklar o'matilgan ish g'ildiragi 1 va 2 ga o'rnatilgan hamda 3 va 4 podshipniklarda aylanadi. Ish g'ildiragi suyuqlik oqib o'tishi uchun qulay shakldagi vtulkaga o'matilgan parraklardan iborat bo'lib, uning aylanishi natijasida suyuqlik harakatga kelib, yo'naltiruvchi apparat 5 ga o'tadi. Ish g'ildiragi va yo'naltiruvchi apparat truba shaklidagi korpus 6 ga o'rnatilgan. Nasos tomonidan tortilayotgan suyuqlik korpusdan o'tib, tegishli bo'limga yo'naltiriladi.

2.11-rasm, b va v da ish g'ildiragining ko'ndalang kesimi va g'ildirak bilan yo'naltiruvchi apparatning silindrik kesimdagи yoyilmasi keltirilgan. Suyuqlik kirishda o'qiy yo'nalishda harakatlariб, ish g'ildiragidan o'tganda markazdan qoshma kuch ta'sirida radial yo'nalishga siljiydi va spiral ko'rinishda harakat qiladi (2.11 – rasm, b da punktir chiziqlar). Yo'naltiruvchi apparatdan o'tganda esa yana o'qiy yo'nalishni qabul qiladi.



2.11 - rasm. O'qiy nasoslarning sxemasi

Bu esa gidravlik qarshilikni kamaytirib, nasos vujudga keltirgan bosimni oshirishga yordam beradi.

Tezyurarlik koeffisienti markazdan qoshma nasoslarga qaraganda katta, o'qiy nasosga qaraganda kichik bo'lган nasoslar turi diagonal nasoslar bo'lib, ularda chiqish va kirish diametrlarining nisbati birdan kattaroq. Diagonal nasoslarning tuzilishi o'qiy nasosga o'xshagan bo'lib, asosan ish g'ildiragining shakli bilan farqlanadi. Parraklar vtulkaga  $45^{\circ}$  li burchak ostida mahkam o'rnatilgan bo'ladi. Bunday nasoslarning parraklari  $60^{\circ}$  va  $45^{\circ}$  ga qiyalangan, ularning burchagini o'zgartiruvshi mexanizm bilan ta'minlangan turlari ham mavjud. Ularning ba'zi turlarida esa suyuqlik o'q bo'yicha kirib, ish g'ildiragidan o'qqa ma'lum burchak ostida shiqadi. Shunday qilib, bu nasoslarda markazdan qoshma kuch qisman foydalanilgani uchun, u hosil qilgan bosim kattaroq bo'ladi.

**2.15-§. Nasoslar xarakteristikalarini qayta hisoblashda o‘xshashlik formulalaridan foydalanish.**

Ko‘p hollarda, ko‘p quvvat sarf bo‘lgani uchun, nasoslarni moslangan aylanish sonlarida sinab bo‘lmaydi. Bunda agar ishlash sharoiti aylanish sonini o‘zgartirishga imkon bersa, u berilgan aylanish sonida nasosning xarakteristikalarini tuzib, so‘ngra mos aylanish sonidagi ishlash sharoitiga to‘g‘rilash mumkin. Nasosning bir aylanish sonidagi ishlashi, ikkinchi aylanish sonidagi ishlashiga o‘xshash bo‘lsa, ya’ni bu ikki holda ish g‘ildiragidan chiqish kuch ushburshaklari o‘xshash bo‘lsa, nasos birinshi holda natura, ikknnshi holda esa model bo‘lib xizmag qiladi. Shunday qilib, natura va modelning o‘lchamlari bir xil bo‘lgani uchun o‘xshashlik formulalaridagi λ soni birga teng bo‘ladi. Shuning uchun bu holda (13.13), (13.14), (13.15) formulalar quyidagicha yoziladi:

birinchi o‘xshashlik munosabati

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (14.1)$$

ikkinchi o‘xshashlik munosabati

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2, \quad (14.2)$$

uchinchchi o‘xshashlik munosabati

$$\frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (14.3)$$

Bu formulalarni olishda FIK o‘zgarmas deb qabul qildik. Haqiqatda ham, o‘xshash nasoslarda gidravlik va hajmiy FIK deyarli o‘zgarmaydi. Sal’nik va podshipniklardagi FIK esa yuqorida aytilgandek juda kichik miqdor Shuning uchun qabul qilgan shartimiz nasoslarning xarakteristikalarini bir aylanish sonidan ikkinchi aylanish soniga o‘tishda sezilarli xato bermaydi.

Olingan o‘xshashlik munosabatlari quyidagicha ta’riflanadi. Nasosning aylanishlar sonini o‘zgartirganda uning xarakteristikalarini yangi o‘zgarish soniga moslab, qayta hisoblash mumkin. Bunda:

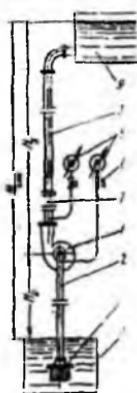
- 1) sarflar aylanishlar sonlarining nisbatiga to‘g‘ri proporsional;

- 2) bosimlar aylanishlar sonlari nisbatining kvadratiga proporsional;
- 3) quvvatlar aylanishlar sonlari nisbatining kubiga proporsional.

Bu uchta ta'rif tajribada tasdiqlangan bo'lib, aylanishlar soni kichrayganda umumiy FIK oz miqdorda kamayadi.

## 2.16-§. Nasos qurilmasi

Nasos qurilmasi nasosning o'zi 1 dan tashqari, ta'minlovchi suv saqlagish 8 dan qabul qiluvchi sistema 9 gacha bir qancha qismlardan iborat bo'ladi (2.12-rasm). Nasos ishlaganda suyuqik ta'minlovchi idishdan, tirgak klapan 4 va so'rish trubasi 9 orqali o'tib, nasosning ish g'ildiraklari orasiga kiradi. Nasosga kirish oldida vakuummetr 6 o'rnatilgan bo'lib, u so'rish trubasidagi siyraklanish darajasini kuzatishga yordam beradi. Nasosdan chiqishda sarfni o'zgartirish uchun xizmat qiluvchi berkitgich 7 va bosim o'lchagich manometr 5 o'rnatilgan bo'lib, suyuqlik bulardan o'tganidan so'ng haydash trubasi 3 orqali o'tib, qabul qiluvshni idishga tushadi. Tirgak klapan nasosni ishga tushirish oldidan qo'yilgan suyuqlik ta'minlovchi idishga oqib ketmasligi uchun o'rnatilgan bo'lib, turli iflosliklarning kirishidan filtr bilan himoyalangan. Ta'milovchi idishdagi suyuqlik sathi bilan nasos o'rnatilgan sath orasidagi farq so'rish balandligi deyiladi va  $H_s$  bilan belgilanadi. Nasos o'rnatilgan sath bilan qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathlari farqi haydash balandligi deyiladi va  $H_h$  bilan belgilanadi. So'rish balandligi bilan haydash balandligining yig'indisi statik balandlik deyiladi va  $H_{st}$  bilan belgilanadi.



2.12 - rasm Nasos qurilmasini tushuntirishga oid chizma

So'rilib sathi geometrik balandlikka  $H_g$  teng ekanligini ko'ramiz. Nasos qurilmasida hosil qilingan bosim geometrik balandlik, so'rilib va qabul sathlaridagi bosimlar farqidan hosil bo'lgan bosim va dinamik bosimlar yig'indisidan iboratdir. Bu bosimni hisoblash formulasi nasoslarning asosiy parametrlari haqidagi bo'limda keltirilgan.

Nasos sistemasidagi qiyinchiliklardan biri nasosga kirish va chiqishdagi bosimlar farqi hisobiga nasosni o'q bo'yicha siljitimishga intiluvchi kuchning paydo bo'lishi va unga qarshi kurashdir. Bu kuch nasosga kirish va chiqishdagi diametrlar ( $d_1$  va  $d_2$ ) orqali quyidagicha

hisoblanadi:

$$P_{o,q} = P_2 \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_v^2) - p_1 \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_v^2) - p_2 \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2) = (p_1 - p_2) \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_v^2),$$

bu yerda  $d_v$  - valning diametri..

Nasos agar ko'p bosqichli bo'lsa, tegishli bosqichlardagi kirish bosimlarini  $p_{1-1}, p_{1-2}, \dots, p_{1-n}$  chiqish bosimlarini esa  $p_{2-1}, p_{2-2}, \dots, p_{2-n}$  bilan belgilasak, o'qiy kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{0,q} = \frac{\pi}{4} (p_{2-1} + p_{2-2} + \dots + p_{2-n}) (d_2^2 - d_v^2) - \frac{\pi}{4} (p_{1-1} + p_{1-2} + \dots + p_{1-n}) (d_1^2 - d_v^2) - \frac{\pi}{4} (p_{2-1} + p_{2-2} + \dots + p_{2-n}) (d_2^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} \sum (p_{2-n} - p_{1-n}) (d_1^2 - d_v^2).$$

Bundan ko'rinaridiki, o'qiy bosim kirish va chiqishdagi bosimlar farqi va kirish kesimining ortishi bilan ortadi. Shu bilan birga suyuqlik sarfi ham ortadi. Bu esa nasos o'rnatilgan zaminga ta'sir qilish bilan birga ish g'ildiragini o'z holatidan siljitimishga harakat qiladi. Bu kuch ush xil usul bilan muvozanatlanadi:

1) kuch kamaytirgish barabandan foydalanish (kuch kamaytirgish baraban uzaytirilgan silindr shaklidagi zichlagich bo'lib, oxirgi bosqichdagi ish g'ildiragi bilan kuch kamaytirgich kamera orasida joylashadi va val bilan birga aylanadi);

2) muvozanatlovchi disk bo'lib, u o'qiy bosimning o'zgarishini avtomatik ravishda sezadi va butun rotoring siljishi va zichlagich holatining o'zgarishiga ta'sir qiladi;

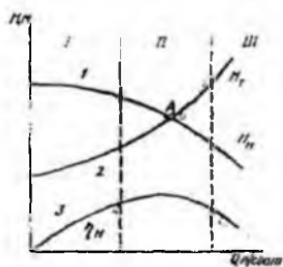
3) nasosning ikki tomoniga so'rish yo'lini joylashtirish. Bundan tashqari, rotor valini mustahkam asosga o'rnatilgan sharikli tigrak podshipniklarga o'rnatish yo'li bilan ham o'qiy bosim ta'sirida siljishini yo'qotish mumkin.

Nasos to'xtaganda haydash trubasidagi suyuqlik teskariga harakat qilmasligi uchun manometrдан keyin tirkak klapan ham o'matiladi.

## 2.17-§. Nasos bilan ta'minlangan quvurlarning hisobi

Biz gidravlika bo'limida (IX bob) da ko'rganimizdek, trubalarni hisoblashda uning xarakteristikasini tuzish yoki qarshilikni yengish uchun sarf bo'ladigan energiyani hisoblash zarur bo'ladi. Sarflanadigan energiya trubaning uzunligi va diametri, qarshilik koeffisiesti, mahalliy qarshiliklar va boshqalarga bog'liq (9.1). Bu sarfni yengish uchun

qancha bosim kerakligini hisoblash (9.1) yo‘li bilan suv to‘ldirilgan idishni qancha balandlikka ko‘tarish zarurligini yoki berilgan bosim yordamida qancha sarf olish mumkinligini hisoblash yo‘llari bilan tanishdik. Trubalardagi energiya sarfini yengish va tegishli sarf olish uchun nasoslardan ham foydalanish mumkin. Bunda albatta nasosning bosimi kerakli bosimdan kichik bo‘lmasligi kerak. Shunnung uchun truboprovodda tegishli sarfni olish uchun yetarli bosimni hosil qilib bera oladigan nasosni tanlash nasosli trubalar hisobining asosini tashkil qiladi. Buni amalga oshirish uchun bir grafikning o‘ziga nasosning va trubaning bosim xarakteristikalarini chizamiz (2.13-rasm).



2.13. - rasm. Nasos bilan ta‘minlangan trubalarni hisoblashga doir.

Rasmda 1 chiziq nasos xarakteristikasi bo‘lsa, 2 shiziq truboprovod xarakteristikasi va 3 chiziq nasos FIK grafigidir. Ko‘rinib turibdiki, xarakteristikalar joylashgan sohani uch qismga ajratish mumkin. Birinchi qismda nasosning bosimi trubaning shu sarfga tegishli bosimidan ortiq bo‘lib, bu qismda nasosning foydali ish koefisienti kam bo‘ladi. Ikkinci qismda nasos bosimi bilan, trubada tegishli sarf olish uchun zarur

bo‘lgan bosimlar deyarli teng bo‘lib, bu qism xarakteristikalar kesishgan A nuqtani o‘z ichiga oladi. Shunday qilib, sohaning bu qismida nasos eng yaxshi ishlaydi va uning foydali ish koefisienti yuqori bo‘ladi, ya’ni uning bosimi trubada suyuqlikning kerakli sarfini hosil qilish uchun butunlay sarf bo‘ladi. A nuqtada esa nasos truba bilan eng yaxshi ishlaydi. Uchinchi qismda nasosning bosimi trubada tegishli sarf olish uchun zarur bo‘lgan bosimdan kichik bo‘ladi, ya’ni nasos kerakli sarfni ta‘minlay olmaydi.

Bu tekshirishdan ko‘rinadiki, berilgan trubada tegishli sarfni olish uchun shunday nasos tanlab olish kerakki, ularning xarakteristikalari shu sarf qiymati atrofida kesishsin. Albatta, zapas kuch nuqtai nazaridan qaraganda xarakteristikalar kesishish nuqtasi A tegishli sarfdan bir oz chaproqda joylashishi kerak.

## 2.18-§. So‘rishni boshqarish

Nasoslardan, odatda, truboprovod sistemasida hosil qilinishi zarur bo‘lgan eng ko‘p so‘rishga qarab tanlab olinadi. Lekin nasoslarni ishlatish vaqtida, ko‘pincha, haydash

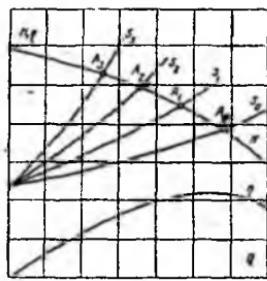
trubalariga kamroq sarf yuborish zarurati tug'ilib qoladi, ya'ni so'rishni ancha keng chegara oralig'ida o'zgartirib turish kerak bo'ladi. Yuqorida aytganimizdek, amaliy so'rish nasos va truba xarakteristikalarining kesishgan nuqtasida tanlab olinadi. Bundan ko'rindiki, sarfni o'zgartirish uchun yo'nosning xarakteristikasini, yoki trubaning xarakteristikasini o'zgartirish kerak ekan. Amalda sarfni boshqarishning bir qancha usullari mavjud.

**1. Boshqarishning drossellash usuli** kurakli nasoslar uchun eng ko'p tarqalgan usuldir. Uning mohiyati berkitkichning ochilish darajasini kamaytirish yo'li bilan qo'shimcha qarshilik hosil qilish hisobiga haydash trubasidagi barqarorlashgan xarakteristikani o'zgartirishdan iborat. Trubaning bosimi bilan surish orasidagi bog'lanish  $H = \alpha Q^2$  ekanini hisobga olsak, avvalgi koeffisientni  $\alpha_0$  berkitkich surilgandan keyingi koeffisientini  $\alpha_1$  desak, u holda  $\alpha_0$  ga berkitkich hisobiga yangi  $\alpha_{ber}$  koeffisient qo'shilganini ko'ramiz:

$$\alpha_1 = \alpha_0 + \alpha_{ber}$$

Shunday qilib, trubaning xarakteristikasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$H = H_{st} + \alpha_0 Q^2 + \alpha_{ber} Q^2$$



2.1.4 - rasm. Drosselning ochilish darajasiga  
qarab sarfni boshqarishga doir sxema

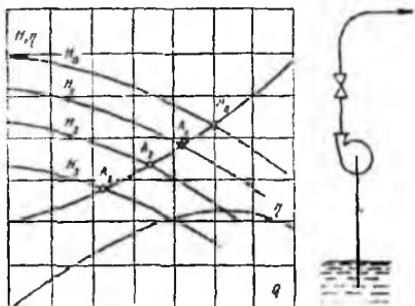
Koeffisient  $\alpha_{ber}$  ning qiymati ochilish darajasining ortishi bilan ortib boradi. 2.14-rasm da berkitkichning ochilish darajasiga qarab truba xarakteristikasining nasos xarakteristikasiga nisbatan holatining o'zgarib borishi ko'rsatilgan. Ko'rindiki, berkitkichni bekitish yo'li bilan so'rishni nolgacha  $Q_{max}$  dan o'zgartirib borish mumkin ekan.

Berkitkich bilan so'rishni boshqarish juda

oson bo'lib uning yagona kamchiligi nasosning bir qism energiyasining berkitkich qarshiligi  $\alpha_{ber} Q^2$  ni yengishga sarf bo'llishidir.

**2. Nasosning aylanish sonini o'zgartirish usuli.** Agar biror moslangan aylanish soni  $n_0$  da nasosning bosimi  $H_0$ , so'rishi  $Q_{max}$  bo'lsa, aylanish sonini kamaytirish yo'li bilan sarfni kamaytirib borish mumkin.

Aylanish sonini uzlusiz kamaytirish yo'li bilan ham sarfni uzlusiz o'zgartirib borish mumkin (2.15- rasm).



2.15 - rasm. Aylanishlar sonini o'zgartirish yo'li bilan sarfni o'zgartirishga doir sxema

Nasos bilan dvigatel o'rtasiga turli boshqariluvchi qismlar qo'yish qurilmani murakkablashtirib va qimmatlashtirib yuboradi.



2.16-rasm.  
Bir qism  
sarfni  
qaytarish  
yo'li bilan  
sarfni  
boshqarishga  
doir sxema.

**3.Bir qism sarfni qaytarish usuli (2.16 rasm)** haydash trubasi bilan so'rish trubasini tutashtiruvchi qo'shimcha trubadagi berkitkichni ochish yo'li bilan amalga oshiriladi. Bu eshikchaning ochilish darajasi ortishi bilan haydash trubasiga ketayotgan sarf  $Q$  kamayadi. Boshqarishning bu usulini, energiyani tejash nuqtai nazaridan, so'rishning ortishi bilan quvvati kamayuvchi tezyurar nasoslarga qo'llash maqsadga muvofiqroqdir. Shuni nazarda tutish kerakki, qo'shimcha trubadagi berkitkichni ochish bilan nasosdagi sarf ortib, uning ishlash holati, kavitaliya ko'rsatkichlari ortishi hisobiga yomonlashadi. Bu usul kamdan-kam qo'llaniladi.

**4. Ish g'ildiragi kuraklarining joylashish burchagini o'zgartirish usulini** ish vaqtida kuraklar qiyalik burchagini o'zgartirish mexanizmi bilan ta'minlangan o'qiy va diagonal nasoslardagina amalga oshirish mumkin. Bu usul bilan so'rishni uzlusiz o'zgartirib borish mumkin, lekin o'zgarish chegarasi juda kichik.

**5.Ishlayotgan nasoslar sonini o'zgartirish usuli** nasoslarni parallel ulanganda ishlayotgan nasoslar sonini o'zgartirish bilan amalga oshiriladi (bunda

Amalda aylanish sonini o'zgartirish bilan so'rishni o'zgartirish juda katta qiyinchiliklar bilan bog'liq, chunki harakatga keltiruvchi sifatida ishlatiladigan asinxron elektrodvigatellar bir xil aylanish sonida ishlaydi. Mavjud tok chastotasini yoki valning sirpanishini oshirish bilan asinxron dvigatellarning chastotasini o'zgartirish usullari hozircha keng qo'llanilgani yo'q.

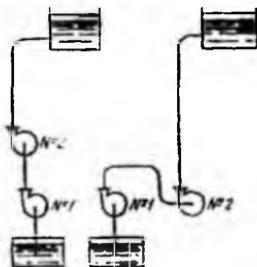
to‘xtailgan nasosning haydash trubasidagi klapan yopilgan bo‘lishi kerak). Bunday boshqarish usuli qulay, lekin sarf notebris (keskin ortnb yo kamayib) o‘zgaradi. Bu usulni drossellash bilan birga qo‘llansa, yaxshi energetik ko‘rsatkishga erishish mumkin.

### 2.19-§. Nasoslarni ketma-ket va parallel ulash

Ishlab chiqarishda ko‘p hollarda yuqori bosim yoki sarf olish uchun bir necha nasosni birga ishlatishga to‘g‘ri keladi. Bunday ish yo bitta nasos kerakli bosimni, yoki sarfni yetkazib bera olmaydigan, yoki energiyani tejash uchun bitta nasos o‘rniga bir necha nasos ishlatish zarur bo‘lgan hollarda kerak bo‘ladi. Bir necha nasosni bir yerga to‘plab nasos stansiyasi tashkil qilish ham mumkin.

Bir necha nasosni birlashtirishni ikki xil usulda: ketma-ket va parallel ulash usullarida amalga oshirish mumkin.

#### 1. Nasoslarni ketma-ket ulash



2.17-rasm. Nasoslarni ketma-ket ulashga doir sxema

Nasoslarni ketma-ket ulash turlicha amalga oshirilishi mumkin (2.17-rasm). Bunda birinchi nasosning chiqish naychasini ikkinchi nasosning kirish naychasiga ularadi va birinchi nasos bilan ikkinchi nasos orasida ma‘lum uzunlikdagi truba bo‘lishi shart. Ko‘pinsha, ikkita ketma-ket ulangan nasoslar bir xil bo‘lishiga harakat qilinadi. 2.17-rasmida nasoslarni ketma-ket ulashning ikki xil

sxematik ko‘rinishi tasvirlangan. Bu sxemalarga ko‘ra ketma-ket ulangan nasoslarning sarflari teng bo‘lib, umumiy bosim har bir nasos bosimlarining yig‘indisiga teng.

Bu sxema ketma-ket ulangan har bir nasos xarakteristikalaridan foydalanib, nasoslar gruppasining umumiy xarakteristikasini tuzishga imkon beradi.

#### 2.18-rasmda keltirilgan xarakteristikalar grafigidan

$$H_{1+2} = H_1 + H_2.$$

Ikki nasos quvvatlarining yig‘indisi ham ayrim quvvatlar yig‘indilariga teng

$$N_{1+2} = N_1 + N_2 = \frac{\gamma Q H_1}{102\eta_1} + \frac{\gamma Q H_2}{102\eta_2}$$

Agar nasoslar gruppasining umumiyligi foydali ish koeffisientini o'rtacha foydali ish koeffisienti bilan almashtirsak:

$$N_{1+2} = \frac{\eta Q(H_1 + H_2)}{102\eta_{sr}},$$

bunda

$$\eta_{sr} = \frac{H_1 + H_2}{\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2}}.$$

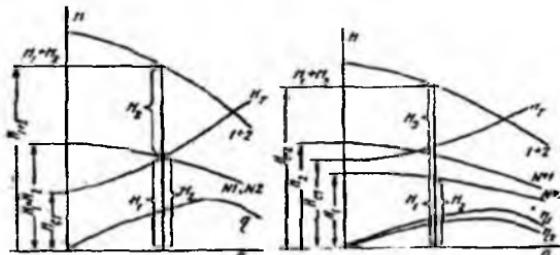
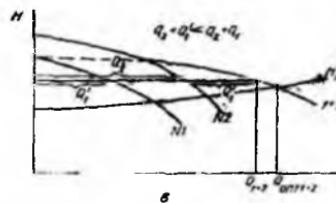
Agar bir nechta nasos ketma-ket ulansa, u holda

$$H = \sum_{i=1}^n H_i$$

Nasoslar bir xil xarakteristikaga ega bo'lsa, so'nggi formula boshqacha yoziladi:

$$H = nH_1.$$

2.18-rasm,  $a$  da ikki bir xil nasosning 2.18-rasm,  $b$  da esa ikki xil nasosning ketma-ket ulangandagi xarakteristikalari keltirilgan. Ikkinci grafikdan ko'rindaniki, ikkinchi nasosning bosimi hatto statik bosimni yengishga ham yetmaydi. Demak, ikkinchi nasosdan olinadigan bosim shu nasos ayrim ishlaganidagi bosimdan ancha katta bo'ladi.



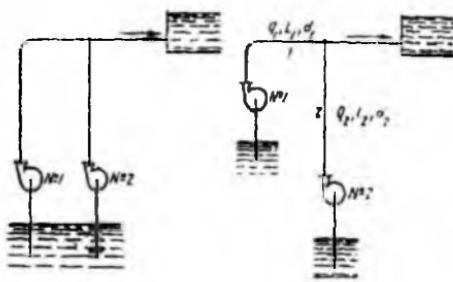
**2.18-rasm. Nasoslarni ketma-ket ulashda ularning trubprovod bilan bliga ishlash xarakteristikasi**

Demak, shuni nazarda tutish kerakki, nasoslarning chiqish nayshalari ma'lum bosimga chidaydigan qilib hisoblangan bo'lib, bu hol nasoslarni ketma-ket ulashga chegara

qo'yadi. Shuni aytish kerakki, ikki turli nasosni ketma-ket ulash mumkin, lekin bunda sarflar teng bo'lgani ushun ularning hisoblangan sarflari bir-biriga yaqin bo'lishi kerak. Aks holda nasoslardan biri ikkinchisiga to'sqinlik qilishi mumkin. Agar ikki nasos ketma-ket ulanganda ular juda yaqin joylashib qolsa, ta'minlovshi idishga ulangan nasos, ikkinchi nasosning so'rish ta'sirida bo'lgani uchun, juda kichik bosim hosil qiladi. Natijada ketma-ket ulash yaxshi samara bermaydi.

## 2. Nasoslarni parallel ulash

Bu usul bir nesha nasos yordamida baravar suv tortib, bitta trubaga quyishdan iborat (2.19-rasm).



2.19-rasm. Ikki nasosni parallel ulashga doni shema

Bu holda har bir nasosning ishlashi qarshi bosimning kattaligiga bog'liq. Agar ikki nasos parallel ishlasa-yu, ulardan birining sarfi ham, bosimi ham katta bo'lsa, bu holda ikkinchi nasosning bosimi qaytarilib (boshqacha aytganda ikkinchi nasos bo'g'ilib), umumiy trubaga beradigan sarfi nolga teng bo'ladi. Ba'zi holda bosimi past nasosda suyuqlik

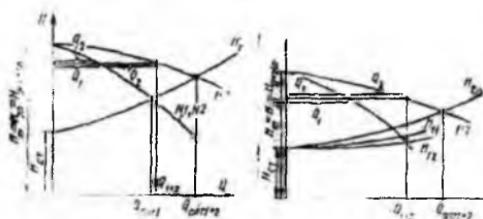
teskari tomonga (nasos ishlab turishiga qaramay) harakat qilib, so'rish trubasidan qaytib tushishi mumkin. Bosimi past nasosning bunday ishlashi teskari oqishda ishslash deyiladi. Shuning uchun nasoslarni parallel ulashda, ularning umumiy xarakteristikasini bilishdan tashqari, har bir nasosning xarakteristikasini bilish va uni qayerga joylashtirishni aniqlash zarur bo'ladi. Shunday nasoslarni parallel ulashning turli usullari bo'lishi mumkin.

1. Ikki, uch va bir qancha nasoslar birga ishlashi mumkin.
2. Birga ishlayotgan nasoslarning xarakteristikalari bir xil yoki har xil bo'lishi mumkin.
3. Nasoslar magistralga bir-biriga yaqin masofada tutashtirilgan (nasoslar orasidagi trubalarning qarshiligi juda kichik) yoki uzoq masofada tutashtirilgan bo'lishi mumkin.
4. Nasoslarning so'rish sharoiti bir xil yoki o'zgarib turuvchi (ta'minlovshi idishda suyuqlik bosim ostida bo'lib, bu bosim o'zgaruvchan) bo'lishi mumkin.

Barcha holda ham nasoslarning bosimi bir xil bo'lib, umumiy sarf xususiy sarflarning yig'indisiga teng bo'ladi.

Avval bir xil xarakteristikali ikkita bir xil nasosning yaqin joylashgan holini ko'ramiz. Agar bu ikki nasos bir-biriga ta'sir qilmasa, u holda

$$Q_{1+2} = Q_1 + Q_2 = 2Q_1.$$



2.20-rasm. Nasoslarni parallel ulashda  
ularni truboprovodga ishlash sxemasi

xarakteristikasining egriligidagi bog'liq (2.20- rasm, a). Endi ikkita bir xil xarakteristikali nasos bir-biridan uzoq joylashgan holni ko'ramiz. Bunda ikki nasos trubalarining tutashgan joyidan birinchi nasosgasha uzunligi  $l_1$ , diametri  $d_1$  bo'lgan truba ikkinchi nasosgacha, uzunligi  $l_2$  diametri  $d_2$  bo'lgan trubalar bo'lib (2.19- rasm), ularning xarakteristikalari tegishli ravishda  $H_{T_1}$  va  $H_{T_2}$  bo'lsin (2.20-rasm, b). Bunda avvalgi holdagi kabi sarflarni qo'shib, nasoslar gruppasining xarakteristikasi  $H_{1+2}$  ni hamda gidravlika bo'limida keltirilgan bo'yicha trubalar xarakteristikalarini qo'shib, trubalarining umumiy xarakteristikasi  $H_T$  ni bitta koordinata sistemasida quramiz. Natijada ikki bir xil nasos bir-biridan uzoq masofada joylashgan holdagi ish xarakteristikasinn olamiz.

Bir necha bir xil xarakteristikali nasoslar birga ishlaganda avval ikkita nasosning umumiy xarakteristikasini tuzib olamiz. So'ngra ikki nasosning umumiy xarakteristikasini bitta nasos xarakteristikasidek qarab, uni ushinshi nasos xarakteristikasi bilan qo'shamiz. Shundan so'ng uch nasos umumiy xarakteristikasini to'rtinchchi nasos xarakteristikasi bilan qo'shamiz va shu tarzda ishni davom ettirib, istalgancha nasoslar gruppasining umumiy xarakteristikasini tuzamiz. Bu yakunlovchi xarakteristika bilan trubalar sistemasi xarakteristikalari kesishuvidan sistemaning umumiy sarfi va bosimini topamiz. Ikki xil xarakteristikali ikki nasosning parallel ishlashini ko'rishda esa avvalo har bir nasosning ayrim-ayrim xarakteristikalarini tuzamiz. Bu holda ikkinchi nasosning

Agar parallel ulangan ikki nasosdan birining berkitkichi yopilgan bo'lsa, sistema bitta nasosdek ishlaydi. Berkitkichning oshib borilishi bilan sarf ham ortib borib  $2Q_1$  ga tenglashadi. Bunda albatta optimal sarf ikki nasos optimal sarflari yig'indisidan kichik, chunki u truba

sarfi ortib borib, uning kamayib borayotgan bosimi birinchi nasosning bosimiga tenglashgunsha, birinchi nasos „bo‘g‘ilib”, sarfi nolga teng bo‘ladi. Bosimning bundan keyingi pasayishidan boshlab, birinchi nasos ham suyuqlik torta boshlaydi (2.20-rasm, v). Shuning ushun umumiy xarakteristikani olishda ikkinchi nasos ishlay boshlagandan boshlab, sarflar qo‘shilgani bilan umumiy sarf bu ikki nasosning ayrim ishlaganidagi sarflarining yig‘indisidan kichik bo‘ladi:

$$Q_{1+2} < Q_1 + Q_2.$$

Lekin birga ishlagandagi sarflar yig‘indisiga teng:

$$Q_{1+2} = Q_1 + Q_2.$$

Biz ko‘rilgan sxemada ikki xil xarakteristikali nasoslar yaqin masofada bo‘lgan holni ko‘rdik. Ular o‘zaro uzoq joylashgan bo‘lsa, optimal sarfni topishdan oldin trubalar xarakteristikalarini qo‘shib olamiz. Amalda gidrosistemalarda parallel va ketma-ket ulangan nasoslar turli kombinasiyada uchrashlari mumkin. Bunday murakkab sistemalarning ishlashini tekshirish uncha qiyinchilik tug‘dirmasa ham juda ko‘p vaqt va diqqat talab qiluvchi grafik hamda hisoblash ishlari zarur bo‘ladi. Ayniqsa nasoslarning so‘rish balandligi turlicha bo‘lsa, ish murakkablashadi.

## 2.20-§. Kurakli nasoslarda kavitaliya. Chegaraviy so‘rilish balandligi

Yuqorida biz kurakli nasoslarda energiyaning sarf bo‘lishi haqida to‘xtalganimizda nasos ish g‘ildiraklarining kanallarida kavitaliya vujudga kelishi haqida gapirgan edik. Bunda kanalning botiq tomonida bosim ortib, qavariq tomonida kamayishi hisobiga uyurmali harakat vujudga keladi (2.7-rasm). Shunday qilib, ish g‘ildiragining ba’zi qismlarida, asosan kirish qismida, absolyut bosim suyuqlikning to‘yingan bug‘lari bosimidan kamayib ketishi mumkin. Natijada suyuqlik oqimida pufakchalar paydo bo‘lib, ular ish g‘ildiragidan chiqishga yaqinlashgan sari, bosim ortgani sababli, yana erib ketadi. Natijada pufakchalar egallagan bo‘shliq birdan yopilishidan kichik gidravlik zarba hosil bo‘ladi. Bitta pufakchaning yopilishidan hosil bo‘lgan zarba kichik bo‘lsa ham, bunday pufakchalar soni juda ko‘p bo‘lgani uchun ish g‘ildiragi va nasos korpusiga katta zarar keltiradi. Kavitaliyaning asosiy zararlaridan biri – uning kuchayib ketishi natijasida nasosning moslashgan ishlash tartibi buzilishidir. Bunda so‘rilish tomonidagi vakuumni, chiqishdagি bosimni, sarf bo‘layotgan quvvatni ko‘rsatuvchi asboblarning strelkasi ko‘rsatishini “yo‘qotib” betartib harakat qila boshlaydi va nasos

suyuqlikni deyarli tortmay qo'yadi. Tashqaridan kavitaliya hodisasi o'ziga xos shovqin paydo bo'lishi, nasosning va unga tutashgan trubalarning tebranishi bilan xarakterlanadi. Ikkinci xil zarar – kavitaliya kuchaygan joylarda metallning yemirilishidir. Ko'p bosqichli nasoslarda kavitaliya hodisasiga asosan birinchi bosqichda bo'ladi. Tekshirishlar kavitaliya hodisasiga asosiy sabab mexanik effektlar ekanligini, Gallerning tekshirishlari zarba chastotasi 2500 Gs ga, zarba kuchi 300 atm ( $29,4 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>) ga teng ekanligini ko'rsatdi (Galler qo'llagan datshikning qabul qiluvchi qismining yuzasi 1,5 mm ga teng bo'lgan).

Yuqorida aytigalar ko'rsatadiki, kavitaliya hodisasining paydo bo'lishiga nasosning kirish qismida va ish g'ildiragiga kirishda bosimning kamayib ketishi sababdir.

Kirish qismida bosimning kamayishi ikki sababga ko'ra bo'lishi mumkin: aylanish sonining ortishi; so'riliq balandligining ortishi.

Birinchi holda aylanish sonining ortishi markazdan qoshma kuchning ortishiga sabab bo'lgani uchun ish g'ildiragi o'qida (demak, ish g'ildiragi kanaliga kirishda) bosimning kamayib ketishiga olib keladi.

Ikkinci holda so'riliq balandligining ortishi nasosga kirishda bosimning kamayishi orqali ta'sir qilib, so'riliq balandligi ma'lum chegaradan o'tganda so'riliqning to'xtashiga olib keladi. Ana shu chegara qiymat chegaraviy so'riliq balandligi deyiladi. Chegaraviy so'rish balandligini aniqlash uchun 2.12-rasmdan foydalanamiz. Ta'minlovchi idishdagi sathni birinchi kesim, nasosga kirishdagi sathni ikkinchi kesim deb, bu ikki kesimga Bernulli tenglamasini qo'llaymiz. Birinchi kesimda bosim  $p_1$  tezlik  $v_1$  ikkinchi kesimda bosim  $p_s$  (so'riliq bosimi), tezlik  $v_s$  (so'riliq tezligi), kesimlar sathining farqi  $H_s$  (so'riliq balandligi) deb quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + H_s + h_{1-2}.$$

Bundan so'riliq balandligini topamiz:

$$H_s = \frac{p_1}{\lambda} - \left( \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2 - v_1^2}{2g} + h_{1-2} \right). \quad (14.4)$$

Albatta,  $h_{1-2}$  gidravlik yo'qotishlarning yig'indisidan iborat:

$$h_c = h_{1-2} = \lambda \frac{l}{d_c} \frac{v_c^2}{2g} + \sum_{i=1}^n \xi_i \frac{v_c^2}{2g},$$

bu yerda birinchi had ishqalanish qarshiligi bo'lib, surish trubasining uzunligi  $l_s$  va diametri  $d_s$  bog'liq; ikkinchi had maxalliy qarshiliklar yig'indisidir.

(14.4) tenglamadan ko'rindiki, ta'minlovchi idishdagi bosimning ortishi so'riliш balandligi ortib, so'riliш bosimi, so'riliш tezligi va so'rish trubasidagi qarshilikning ortishi bilan kamayadi. Agar ta'minlovchi idishdagi bosim atmosfera bosimiga teng bo'lsa,  $p_t = p_a$  tezlik esa nolga teng, ya'ni  $v_t = 0$  (ochiq idish), so'riliш bosimi esa, suyuqlikning to'yigan bug' bosimiga teng, ya'ni  $p_t = p_e$ , bo'lsa, u holda (14.4) tenglama quyidagicha yoziladi:

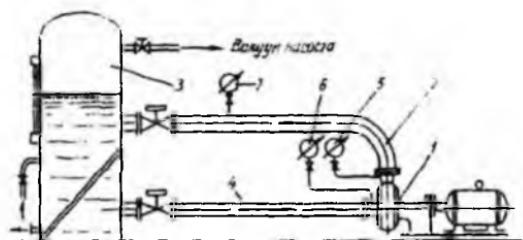
$$H_e \leq \frac{p_a}{\gamma} - \left( \frac{p_t}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g} = h_e \right) \quad (14.5)$$

Bunda tenglik belgisi  $H_e$  ning chegaraviy so'riliш balandligiga teng bo'lgan holini ko'rsatadi. Chegaraviy so'riliш balandligi so'riliш tezligi  $v_s$  surish trubasining qarshiligi  $h_s$  va to'yigan bug' bosimi  $p_s$  ni hisobga olmagan holda ham, dengiz sathida ( $20^\circ\text{S}$  temperaturada) 10 m dan oshmaydi. Amaliy tekshirishda chegaraviy so'riliш balandligi 6-8 m, so'riliш tezligi esa  $v_s = 1-1,5 \text{ m/s}$  bo'ladi.

## 2.21-§. Kavitasiya xarakteristikasi

Sarf, bosim, quvvat va foydali ish koeffisientlarining so'riliш balandligiga bog'liqlik funksiyalarining grafigi nasosning kavitasiya xarakteristikalari deb ataladi:

$$Q = f_1(H_e); \quad H = f_2(H_e); \quad N = f_3(H_e) \quad \text{va} \quad \eta = f_4(H_e).$$



2.21-rasm. So'riliш trubasida kavitasiya

hodisasini tekshirish uchun qurilma sxemasi

qurilma yordamida nasos sinaladi. Bu qurilmada maxsus kavitations bak 3 o'rnatilgan bo'lib, unda vakuum nasos yordamida turli siyraklanish hosil qilish mumkin.

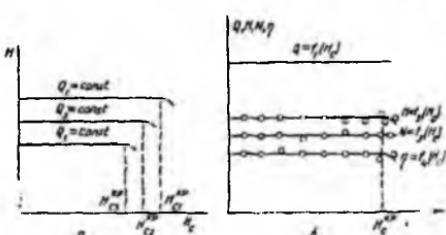
Sxemada tasvirlangan ventillar yordamida so'rish trubasi 4 va haydash trubasi 2 da nasos 1 yordamida o'zgarmas  $Q = \text{const}$  sarf oqimi vujudga keltiriladi va shu sarf

Bu grafiklar tajriba asosida tuziladi. Buning ushun so'riliш bosimini kamaytirib borib yoki so'riliш balandligini oshirib borib, tegishli harj, sarf, bosim, quvvat, FIK larni o'chanadi va ular yordamida grafik tuziladi. Buning uchun 2.21-rasmdagi sxemada tasvirlangan

o'tkazilayotgan sinash davomida o'zgarmas bo'lib qoladi. Sarf o'zgarmas bo'lishini haydash trubasiga o'matilgan manometr 7 ko'rsatkichi o'zgarmasligidan bilinadi. Nasosning so'rish bosimi  $H_s$  ni vakuummetr 5 va haydash bosimi  $H_h$  ni manometr 6 yordamida aniqlanadi. Kavitaliya baki 3 da sekin-asta vakuumni oshirib borish yo'li bilan  $H_s$  ni o'zgartirib boriladi.  $H_s$  ning biror qiymatida  $H_s$ ,  $N$  va  $\eta$  larning keskin kamayib ketishi kuzatiladi.

$H_s$  ning bu nuqtaga tegishli qiymati (2.22-rasm) chegaraviy so'riliш balandligi deyliladi va  $H_c^{kr}$  bilan belgilanadi. Sarfn o'zgartirib borish yo'li bilan ortib boruvchi sarf uchun  $H = f_c(H_s)$  grafiklarini chizish mumkin. Sarf qancha katta bo'lsa, so'rish trubasida shuncha ko'p qarshilik bo'ladi va kavitaliya uzilishi  $H_s$  ning kichik qiymatlari tomoniga suriladi (2.22-rasm, a). Kavitaliya  $H_s$  ning  $H_c^{kr}$  dan kichikroq qiymatlaridan boshlanadi. Shuning uchun kritik so'riliш balandligiga 15—20% zapas kiritib, joiz so'riliш balandligi  $H_c'$  ni belgilanadi. Agar so'riliш balandligi joiz so'riliш balandligi  $H_c'$  kichik bo'lsa, nasosda kavitaliya bo'lmaydi:

$$H_c \leq H_c^{kr}.$$



2.22-rasm. So'riliш trubasida kavitaliya  
hodisasiغا doir grafiklar

So'riliш balandligi uchun chiqarilgan (14.5) formuladan foydalanib, sinash yo'li bilan topilgan so'riliш balandligidan geometrik so'riliш balandligiga o'tish mumkin.

## 2.22-§. Kavitaliya zapasi

Ko'pincha, kavitaliya ko'rsatkichi sifatida kavitaliya zapasi deb ataluvchi kattalikdan foydalaniladi. So'riliш trubasidagi bosim bilan to'yingan bug' bosimiga tegishli bosim  $\left(\frac{p_t}{\gamma}\right)$  ning ayirmasi kavitaliya zapasi deyliladi va  $\Delta H$  bilan belgilanadi:

$$\Delta H = \left( \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} \right) - \frac{p_t}{\gamma} \quad (14.6)$$

Nasosni bir xil sarf va aylanish sonlarida sinab, o'zgaruvchan kavitasiya zapasida (buni berkitkish yordamida so'riliq qarshiligini o'zgartirish yo'li bilan bajarish mumkin) nasos parametrlarining 2.22- rasmdagi kabi  $\Delta H$  ga bog'liq grafiklarini tuzish mumkin. Bu grafiklar yordamida chegaraviy kavitasiya zapasi  $\Delta H_c$  topiladi.  $\Delta H_c$  ga  $1,1 \div 1,3$  zapas koeffisient kiritib, joiz kavitasiya zapasi  $\Delta H_p$  ning qiymatini aniqlaymiz. Bunda nasosda kavitasiya bo'lmaslik sharti deb quyidagi tengsizlik olinadi:

$$\Delta H \geq \Delta H_p \quad (14.7)$$

Nasosda kavitasiya bo'lmasligi uchun mavjud kavitasiya zapasi joiz zapasdan kichik bo'lmasligi kerak.

Ta'minlovchi idish sathida  $p_t = p_a$  va tezlik nolga tengligini nazarga olib, (14.4) dan ushbu tenglamani olamiz:

$$\frac{p_e}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - \left( H_c + \frac{v_e^2}{2g} + h_c \right)$$

Bu tenglikni (14.6) ga qo'llab quyidagini olamiz:

$$\Delta H = \frac{p_a}{\gamma} - H_c - h_c - \frac{p_t}{\gamma}, \quad (14.8)$$

Keltirilgan (14.7) tengsizlikdan foydalanib, (14.8) dan ushbuni olamiz:

$$\frac{p_a}{\gamma} - H_c - h_c - \frac{p_t}{\gamma} \geq \Delta H_p,$$

bundan

$$H_c \leq \frac{p_a}{\gamma} - \Delta H_p - h_c - \frac{p_t}{\gamma}. \quad (14.9)$$

Bu formula atmosfera bosimi, temperatura, so'rileyotgan suyuqlik xossalarini hisobga oladi va so'riliq balandligi bilan joiz kavitasiya zapasi orasidagi munosabatni ko'rsatadi. Joiz kavitasiya zapasi  $\Delta H_p$ , yoki joiz so'riliq balandligi  $H_c'$  suvning temperaturasi va  $p_a$  ga bog'liq emas, (14.9) formulaga esa so'riliq tezligi kirmaydi.

## 2.23-§. S. S. Rudney formulasi va uning qo'llanilishi

O'xshashlik qonunlaridan foydalanib, nasosning kavitasi parametrlariga aylanish sonining o'zgarishi qanday ta'sir qilishini tekshirish mumkin. Atmosfera bosimi uchun

$\frac{p_a}{\gamma} = 10,3 m$  va sovuq suv uchun  $\frac{p_t}{\gamma} \approx 0,3 (t < 35^\circ C)$  ekanligini nazarda tutib, kritik so'riliq balandligi uchun ushbu tenglikni olish mumkin:

$$H_{c_1}^{kr} = 10 - \frac{v_c^2}{2g} - h_c$$

O'xshashlik munosabatlaridan foydalansak, ikki aylanish sonlarida chegaraviy so'rilish balandligi uchun quyidagi tenglikni olamiz:

$$\frac{10 - H_{c_1}^{kr}}{10 - H_{c_2}^{kr}} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

Bundan

$$H_{c_2}^{kr} = 10 - (10 - H_{c_1}^{kr}) \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2. \quad (14.10)$$

Shuningdek, joiz so'rilish balandligi uchun:

$$H_{c_2}^{kr} = 10 - (10 - H_{c_1}^p) \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2. \quad (14.11)$$

cheгаравија и руксатланган кавитасија запаслари учун esa

$$\frac{\Delta H_{kr1}}{\Delta H_{kr2}} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (14.12)$$

$$\frac{\Delta H_{p1}}{\Delta H_{p2}} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (14.13)$$

Bundan ко'rinadiki, кавитасија ко'rsatkichlari joiz so'rilish balandligi  $\Delta H_c^p$  va kavitasija zapasi  $\Delta H_p$ , nasoslarda o'xshash tartib bo'lganda ham o'zgaradi. Bu esa aytilgan ko'rsatkichlarning kamchiligi hisoblanadi.

Kavitasija ko'rsatkichlarini o'xshash tartiblarga qo'llashda tezyurarlik koeffisienti  $n_s$  dan foydalanish mumkin. (14.12) va (14.13) formulalardan ko'rinadiki

$$\frac{\Delta H_{kr1}}{\Delta H_{kr2}} = \frac{H_1}{H_2},$$

bundan ixtiyoriy  $\Delta H_{kr}$  uchun quyidagi formulani yozish mumkin:

$$\Delta H_{kr} = kH,$$

bu yerda  $k$  o'xshash tartiblar uchun o'zgarmasdir. Bu formuladan foydalanib (13.18) da  $H$  ni  $\Delta H_{kr}$  bilan almashtirsak, o'xshash tartiblar uchun o'zgarmaydigan koeffisient keltirib chiqarish mumkin. Qulaylik uchun maxrajga  $\frac{\Delta H_{kr}}{10}$  kiritiladi. U holda ushbu koeffisient kelib chiqadi:

$$c = \frac{n\sqrt{Q}}{\left(\frac{\Delta H_{k_p}}{10}\right)^{3/4}} \quad (14.14)$$

Bu koeffisient tezyurarlik kavitasiya koeffisienti deb ataladi. Koeffisient  $s$  prof. S. S. Rudney tomonidan taklif qilingan bo'lib bir qancha qulayliklarga ega. Birinchidan u o'xhash tartiblar uchun bir xil. Ikkinchidan kurakli nasoslar uchun bu koeffisient kam o'zgaradi. Nasoslar optimalga yaqin tartibda ishlaganda (agar kavitations ko'rsatkichi yaxshi bo'lsa)  $s = 900 \div 1100$  ga teng. Juda yuqori kavitasiya sifatiga ega bo'lgan nasoslar uchun  $s = 1300 \div 1500$  ga etadi. Bundan ko'rindaniki, tezyurarlik kavitasiya ko'rsatkichi faqat  $\Delta H_{k_p}$  ni topishga yordam beribgina qolmay, balki nasosning kavitasiya sifatini baholashga ham yordam beradi.

## XV bob. UYURMALI VA OQIMCHALI NASOSLAR

### 2.24-§. Uyurmali nasoslarning sxemasi, ishlash prinsipi, xarakteristikasi, qo'llanish sohalari

Uyurmali nasoslolar ishlash prinsipi bo'yisha markazdan qoshma nasos hisoblanadi. Ularning o'ziga xosligi korpus devorida joylashgan konsentrik kanal mavjudligidir. Bu nasos yon kanallari uning loyihibarida o'zi so'ruvchi bo'lishi ushun zarur.

Nasosning ishlash prinsipi 2.23-rasmdagi sxema yordamida tushunish mumkin. Bu nasos korpusga nisbatan eksentrik joylashgan qanotli ish g'ildiragiga ega. Suyuqlik so'rish tirqishi 1 orqali ish kamerasiga kiradi va so'ngra u g'ildirak tomonidan bo'shliq 2 ga surib yuboriladi. Undan so'ng aylanma kanal 3 dan o'tib, tirqish 4 orqali haydash tirqishi 5 ga keladi.

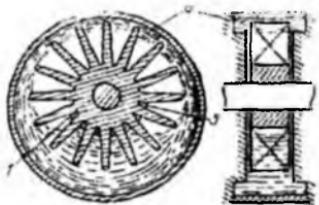


2.23 - rasm. Uyurmali nasoslarning ishlash prinsipini tushuntirishga doir sxema.

Aylanma kanal tirqish 4 orqali nasos korpusining ichki bo'shlig'i bilan tutashgan bo'ladi. Tirqish 1 orqali kirib, bo'shliq 2 ga surilgan suyuqlik kanal 3 da harakat davomida tezligi pasayib boradi, ya'ni bosimi ortadi. Albatta, ish g'ildiragi qanotlari suyuqliknini bo'shliq 2 ga surishida markazdan qoshma kuch muhim rol o'ynaydi. Shu xususiyati bilan bu nasos markazdan qoshma nasoslardan turiga kiradi.

Lekin ish g'ildiragi 4 orqali keltirilgan suyuqliknin tirqish 5 ga siqib kiritish nasos qanotlari orqali ilashtirib ketilayotgan suyuqliknin siqvchi ta'siri bilan bog'langandir. Bu nasosning yana bir xususiyati shundaki, bitta ish g'ildiragida ham ko'p marotabali haydash amalga oshiriladi. Bu jarayon quyidagicha bo'ladi. So'rish yo'li orqali ish g'ildiragiga tushgan suyuqlik markazdan qoshma nasosdagidek g'ildirakka markazdan kirib, kuraklar orasidagi kanaldan tashqariga qarab harakat qiladi. Bu nasos markazdan qoshma nasoslardan suyuqliknin faqat so'rish tirqishining yuzasi bo'yichagina kirishi bilan ham farqlanadi. Kuraklar tomonidan tashqariga surilgan suyuqlik quyidagi ikki sababga ko'ra yo'naltiruvshi kanal bo'yisha harakatlanadi: suyuqliknin tashqariga haydovchi markazdan qoshma kuch ta'siri; ochiq kuraklarning ilashtiruvchi ta'siri. Yon kanalning

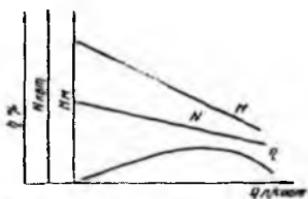
kesimi o'zgarib borgani uchun suyuqlikning bosimi ortib, u ko'p martalab va qisman kanaldan kuraklar orasiga tushadi. Natijada suyuqlik kuraklar tomonidan qayta-qayta haydalishi sababli, energiyasini yana oshirib boradi. Bu nasoslarning suyuqlikni ko'p bosqishli uzatish prinsipi shunga asoslangan. Kuraklarning suyuqlikka ko'p qayta ta'sir qilishi natijasida bunday nasoslar hosil qilgan bosim o'chamlari bir xil bo'lgan markazdan qoshma nasos ish g'ildiragining bir xil aylanish sonida hosil qilgan bosimidan yuqori bo'ladi. Uyurmaviy nasoslarda kamera tashqarisida ish g'ildiragi qanotlarining aylanishi sababli suv halqasi hosil bo'ladi. Qanotlarininig valga tutashgan joyida so'rish sohasi vujudga keladi. Atrofga to'plangan suyuqlik esa yon kanal 6 ning (2.24-rasm) eni kengroq bo'lgani uchun uyurma hosil qiladi. Havo massasi kichik bo'lgani uchun suv halqasi tomonga surilmay o'ttada to'planadi, so'ngra haydash teshigi 5 ga o'tib, undan haydash trubasiga kiradi yoki atmosferaga chiqarib yuboriladi.



**2.24 - rasm. Uyurmali nasoslarda uyurmaning hosil qilinishi va undan foydalanishni tushuntirishga do'r sxema**

Ko'p g'ildirakli nasoslarda tirqish 5 bir g'ildirakdan ikkinchisiga o'tish uchun kanal vazifasini bajaradi.

Eng ko'p tarqalgan uyurmali nasos 2NBS markali nasosdir. Yonuvchi va moylovchi moddalar uchun qo'llanadigan nasoslар ham mavjud. (B-75, PD-10, AD, NKB, BMP-80 va h.) bo'lib, ular qo'yib turuvchi yordamshi nasoslар bilan ta'minlangan bo'ladi. Uyurmali nasoslар sarf ko'p bo'limgan, lekin yuqori bosim zarur bo'lган sistemalarda qo'llaniladi. Bu nasoslар o'zi bilan bir xil o'chamli markazdan qoshma nasoslarga nisbatan 3 – 3,5 baravar katta bosim hosil qiladi. Ularning asosiy kamchiligi foydali ish koeffisienti kamligidir (odatda 0,45 dan oshmaydi).



**2.25 - rasm. Uyurmali nasoslarning taxminiy ish xarakteristikalari**

Yon kanallli uyurmali nasoslар, markazdan qoshma nasoslар kabi, ishlab chiqarishda ish xarakteristikalari yordamida tanlab olinadi. Ularning sarfi 12 l/s, hosil qilgan bosimi 25 atm (2451, 66 kN/m<sup>2</sup>), iste'mol quvvati 25 kW ga yaqin bo'ladi. 2.25-rasmda uyurmali nasosning xarakteristikalari keltirilgan. Grafiklardan ko'rindaniki, ularda asosiy

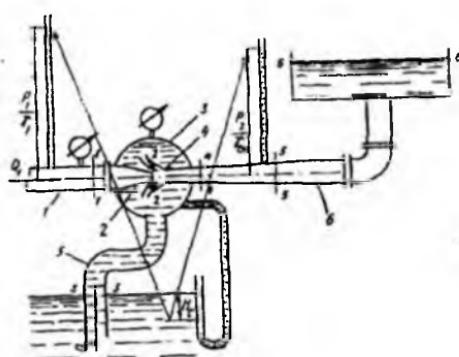
parametrlarning sarfga bog'liqligi qonuniyati markazdan qoshma nasoslardan tamomila farqlanadi. Uyurmali nasosning so'rishi ortib borishi bilan uning bosimi chiziqli kamayadi. Nasos sarflagan quvvat esa markazdan qoshma nasoslardagi kabi ortib bormaydi, aksincha, kamayib boradi va bu kamayish chiziqli bo'ladi. Shuning uchun ham nasosni ishga tushirishni haydash trubasidagi ventil oshib qo'yilgan holatda amalga oshirish tavsiya etiladi. Foydali ish koefisienti grafigi markazdan qoshma nasoslarning shu grafigiga ko'rinishi bo'yicha o'xshash bo'lishiga qaramasdan miqdor jihatidan ancha kam bo'ladi.

Uyurmali nasoslarda bosimning markazdan qoshma nasoslardagidan (4-10 marta) yuqori bo'lishi sababli ular saqlagich klapanlar bilan ta'minlangan bo'ladi. Bu nasoslar uchun markazdan qoshma nasoslarning o'xshashlik formulalari (13.13), (13.14), (13.15) o'rinnlidir. Nasosni bir aylanish sonidan ikkinchi aylanish soniga hisoblab o'tkazish, markazdan qoshma nasoslar kabi (14.1), (14.2), (14.3) va (14.4) formulalar yordamida amalga oshiriladi.

Uyurmali nasoslar, odatda, qovushoqligi kam bo'lgan suyuqliklarni so'rish uchun qo'llaniladi.

## 2.25-§. Oqimchali nasoslarning sxemasi, ishlash prinsipi va ishlatalish sohalari

Oqimchali nasoslarning ishlash prinsipi suyuqlikni so'rish va tortish uchun yordamchi suyuqlik oqimchasining energiyasidan foydalanishga asoslangan. Bu asboblarda vakuum ish suyuqligi oqimchasining torayishi hisobiga hosil bo'ladi. Oqimchali nasosning ishlash sxemasi 2.26-rasmda keltirilgan. Truba 1 dan sarfli ish



2.26 - rasm. Oqimchali nasoslarning sxemasi

suyuqligi  $p_1$  bosim bilan kelsin. Bu suyuqlik soplo 2 ga kirganida torayish hisobiga tezligi  $V_1$  ga ortib, bosimi  $p_2$  ga kamayadi. Suyuqlik soplidan chiqqanidan keyin o'zinersiyasi bilan aralashtirish bo'limi 8 dan o'tib, soplo 4 ga kiradi, so'ngra sekin kengayuvchi diffuzor orqali haydash trubasi 6 ga o'tadi. Soplo  $p_2$  dan chiqib, bosim bilan bosimi  $p_2$

dan yuqori bo'lgan aralashtirish bo'limidan o'tgani uchun 2 va 4 soplolar o'rtasida ikkinshi suyuqlik so'riladi. Shunday qilib, ish suyuqligining aralashtirish kamerasidagi bosimi bilan ta'minlovchi idish sathidagi bosimlar farqiga mos ravishda so'rish trubasidan ikkinchi suyuqlikning sarfi  $Q_2$  ga teng bo'lgan qismi aralashtirish bo'limiga ko'tarilib, so'rilgan suyuqlikning o'mini egallaydi. Natijada haydash trubasiga sarfi  $Q_1$  ga teng ish suyuqligi bilan, sarfi  $Q_2$  ga teng so'rileyotgan suyuqliklar aralashmasi kiradi. Demak, unda sarfi  $Q_1 + Q_2$  ga teng bo'lgan aralashma harakat qiladi. Bundan ko'rindan, nasosning foydali ish koeffisienti quyidagiga teng:

$$\eta = \frac{\gamma_2 Q_2 H_2}{\gamma_1 Q_1 H_1}.$$

Oxirgi formulada qatnashgan  $H_1$  ni 1-1 va 2-2 kesimlarga Bernulli tenglamasini qo'llab topamiz:

$$H_1 = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_1} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g},$$

So'rileyotgan suyuqlik uchun esa  $H_2$  ni 2—2 va 3—3 kesimlarga Bernulli tenglamasini qo'llab topamiz:

$$H_2 = H_c + \frac{v_2^3}{2g} + h_c$$

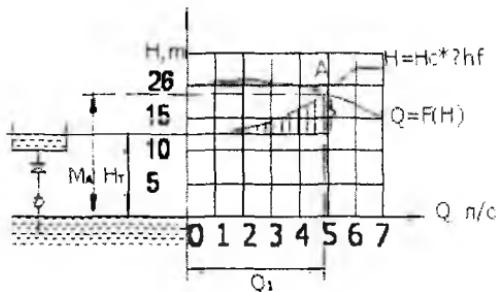
Oqimchali nasoslarning foydali ish koeffisienti juda kichik bo'lib, taxminan  $\eta = 0,15 \div 0,30$  ga teng. Nasosning o'lchamlari qancha kichik bo'lsa, FIK ham shuncha kichik bo'ladi.

Oqimchali nasoslar suyuqlik va gazlarni so'rish va ko'tarish (ejektor va gidro-elevatorlar) hamda qizdirish va aralashtirish (oqimchali aralashtirish, qizdirish va h.k.) uchun qo'llaniladi. Suvni ko'tarish uchun qo'llaniladigan nasoslar (bunda ish suyuqligi vazifasini ham suv bajaradi) suv oqimchali nasoslar deyiladi. Suv oqimchali nasoslar chuqur quduqlardan, qurilishda kotlovanlardan, podvallardan suvni tortish va nasos stansiyalarida nasoslarni ishga tushirish oldidan ulardan havoni so'rib olish uchun foydalilanadi. Neft sanoatida oqimchali nasoslar asosan aralashtirishlar sifatida keng qo'llaniladi.

Sarfi  $150 \div 1200 \text{ l/s}$ , ko'tarish balandligi  $6 \div 12 \text{ m}$  bo'lgan suv struyali nasoslarning katta qurilishlarda pulpani ko'tarish va transport qilish uchun qo'llanilgan hollari ma'lum.

### **1.1.7. Nasos ishchi nuqtasini aniklash.**

Nasos ishchi nuqtasi deb, nasos dam xarakteristikasi bilan, nasos qurilmasi xarakteristikasi (1.5.)ning kesishgan nuqtasi (A)ga aytildi. YA'ni mazkur quvurga ulangan nasos uzatayotgan sarf – QA ga va beradigan dami HA-ga teng (1.5-rasm).



### **1.1.8. Nasosni tanlash**

Nasosni tanlash asosan ikkita kattalik: uzatish kerak bulgan sarf -  $Q$  va berilishi kerak bulgan dam -  $H$  hamda aylanishlar chastotasi -  $P$  asosida amalga oshiriladi. YUqorida keltirilgan kattaliklar asosida tezkorlik koeffisienti (1.21) hisoblanadi va umumlashgan kataloglar yigma grafigida nasos tamg'asi tanlanadi. Tanlangan tamg'aga qarab, nasos katalogidan kerak bulgan nasos xarakteristikalari yozib olinadi.

### **1.1.8. Nasoslarni tamg'alash.**

Nasoslarni tamg'alashda asosan uchta kattalik hisobga olinadi:

- 1.Nasoslar turi harflar bilan belgilanadi. Masalan K- konsolnay, 0- osevoy (uqiy), V- vertikalyny (vertikal) va hokazolar.
- 2.Sarfi,  $m^3/\text{soat}$  yoki  $m^3/\text{c}$  - katta nasoslar uchun.
- 3.Dami,  $m$ -da.

Masalan: K 8/18 – konsol nasos, sarfi  $Q = 8 \text{ m}^3/\text{c}$  va dami  $H = 18\text{m}$ ; NK 200/210 – n – neft nasos, K- konsoli, sarfi -  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{soat}$ , dami  $H = 210\text{m}$ .

## Masalalar.

1.1. Markazdan qochma nasos (K 20/18) suyuqlikni  $H_r = 14\text{m}$  balandlikka kutarmokda. Nasos qurilmasining xarakteristikasi  $H = H_r + 160000 Q^2$  tenglama orqali ifodalansa, nasos ishchi nuqtasini aniklash talab qilinadi.

Echimi: 1. Nasoslar katalogidan foydalanib berilgan nasosning dam xarakteristikasi kuchirib olinadi:

A) nasosning suv sarfini noldan maksimal qiymatgacha mos tushuvchi bosim qiymatlarini jadvalga yozamiz.

1-jadval

$Q, \text{l/c}$	0	1	2	3	4	5	6	7
$H, \text{m}$	20	20,5	21	20,5	10,5	18	16,6	15

b) 1-jadval asosida masshtabda nasosning dam xarakteristikasi quriladi

1. nasos qurilmasining xarakteristikasi quriladi.

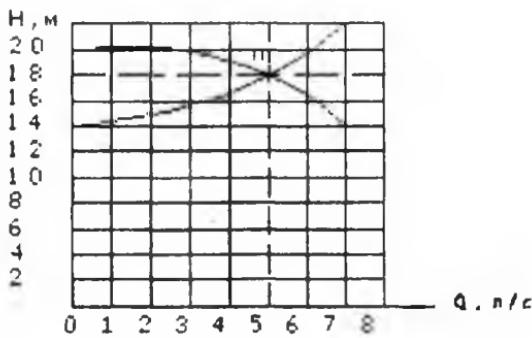
A)  $H = H_r + 160000 Q^2$  tenglama asosida jadval tuziladi

2-jadval

$\text{m}^3/\text{c}$	160000	
0,001	0,16	14,16
0,002	0,64	14,64
0,003	1,44	15,44
0,004	2,56	16,56
0,005	4,00	18,00
0,006	5,76	19,76
0,007	7,84	21,84
0,008	10,24	24,24

B) 2-jadval asosida grafik tuziladi

Nasos qurilmasi va nasos dami xarakteristikalari kesishgan nuqtasi ishchi nuqta «A»ni beradi (1.7-rasm).



1.2. Nasosni sinovdan o'tkazish paytida quyidagi natijalar olindi: nasosdan chiqish qismida manometrik (ortiqcha) bosim  $P^2 = 0.35 \text{ MPa}$ ; nasosga kirish qismidagi vakuum  $h_{vak} = 294 \text{ mm.sim.ust.}$ ; sarf  $Q = 6,5 \text{ l/c}$ ; nasos valiga berilayotgan aylantiruvchi moment  $M=41 \text{ nm}$ ;

nasos valining aylanish chastotasi  $P = 800 \text{ ayl/min}$ . surish va dam (haydash) quvurlarining diametri bir xil qarab, nasosning foydali quvvati va FIK aniqlansin.

Echimi: a) foydali quvvatni (1.8) formula asosida aniqlaymiz:

$$N_\phi = \gamma Q H$$

$$H = \frac{P}{\gamma} \quad \text{bo'lsa} \quad N_\phi = Q P$$

$P$  – nasos bosimi, Pa.

$$P = P_m + P_{vak} = 0,35 + 0,0392 = 0,3892 \text{ mPa}$$

$$P_{vak} = 294 \cdot 133,32 = 0,0392 \text{ mPa}$$

$$N_\phi = Q P = 0,0065 \cdot 389200 = 2530vt = 2,53kVt$$

B) (1.9) formuladan FIKni hisoblaymiz.

$$N = M \cdot \omega$$

$$\omega = \pi n / 30$$

$$N = M \cdot \omega = M \pi n / 30 = \frac{41 \cdot 3,14 \cdot 800}{30} = 3433vt = 3,43kVt$$

$$\zeta = \frac{N_\phi}{N} = \frac{2,53}{3,43} = 0,74$$

Javob:  $\zeta = 0,74\%$

1.3. Ish g'ildiragining diametri D<sub>1</sub>=60 mm li markazdan qochma nasosning parametrlari (qiymatlari) dam (napor) H<sub>1</sub> = 8m, sarf Q<sub>1</sub> = 6 l/c, aylanish chastotasi n<sub>1</sub>=3000 ayl. min. Dvigatelning sovutish sistemasi uchun, o'xshash rejimda ishlovchi va aylanish chastotasi n<sub>2</sub> = 4000 ayl.min.da Q = 9 l/c sarf beruvchi nasos kerak. Kerakli parametrlarni ta'minlash uchun ish g'ildiragini diametrini qanday o'zgartirish kerak. SHunda nasosning dami H<sub>2</sub> qancha buladi,

Echimi: 1.Ish g'ildiragining diametrini (1.19) formuladan aniqlaymiz:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 D_1^3}{n_2 D_2^3}; D_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot D_1^3\right) \frac{Q_1}{Q_2}} = \sqrt[3]{\left(\frac{3000}{4000} \cdot 60^3\right) \frac{6}{9}} = \sqrt[3]{24300} = 62,4 \text{ mm}$$

2.Nasosning damini (1.16) formuladan aniqlaymiz:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^3}{n_2^2 D_2^2}; H_2 = H_1 \frac{n_2^2 D_2^2}{n_1^2 D_1^3} = 8 \cdot \frac{4000^2}{3000^2} \cdot \frac{62,4^2}{60^2} = 15,4 \text{ m}$$

Javob: H<sub>2</sub> = 15,4 m ; D<sub>2</sub> = 62,4 mm.

1.4. Markazdan qochma nasosning  $\omega = 250 \text{ s}^{-1}$  dagi xarakteristikasi Nn = N0 + k1Q - k<sub>2</sub> Q<sup>2</sup> kurinishida yoziladi va berilgan quvurga (truboprovod) ishlaganda sarf Q = 5 l/c ga teng. Agar N0 = 4m, k1 = 0,2 10<sup>3</sup> c/m<sup>2</sup>, k<sub>2</sub> = 0,06 10 c<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>bulsa, damini ikki marta oshirish uchun (sarf uzgarmagan xolda) ish g'ildiragining burchak tezligi qancha bulishi kerak.

Echimi: Damni aniqlaymiz:

$$H_H = H_o + k_1 Q - k_2 Q^2 = 4m + 200s/m^2 \cdot 0,005m^3/s - 60000s^2/m^5 \cdot 0,000025m^6/s^2 = 4 + 1 - 1,5 = 3,5 \text{ m}$$

$$H_H = 3,5m \frac{H_H}{H_H^1} = \frac{n^2}{n_1^2}; n_1^2 = \frac{H_H^1 n_1^1}{H_H}; \omega = \frac{\pi n}{30}$$

$$n = \omega : 0,105 = 250 : 0,105 = 2381 \text{ avA/min}$$

$$n^1 = \sqrt{\frac{H_H^1 \cdot n^2}{H_H}} = n\sqrt{2} = 2381 \cdot 1,41 = 3357 \text{ avA/min}$$

$$\omega^1 = \frac{\pi n^1}{30} = \frac{3,14 \cdot 3357}{30} = 3357 \cdot 0,105 = 3525 \text{ s}^{-1}$$

Javob:  $\omega = 3525 \text{ s}^{-1}$ .

1.5.Ish g'ildiragining diametri D<sub>1</sub>= 250.....li markazdan qochma nasos, aylanishlar chastotasi n<sub>1</sub> = 1000 ayl/min bulganida H<sub>1</sub> = 12 m damda Q = 6,4 l/c sarf uzatadi. Uxshash rejimda ishlovchi nasos H<sub>2</sub>= 18 m dan xosil qilib Q<sub>2</sub>= 10 l/c sarf uzatsa uning aylanishlar chastotasi n<sub>2</sub> va ish g'ildiragining diametri D<sub>2</sub> aniqlansin.

Echimi: 1. (1.19) formuladan ish g'ildiragining diametrini aniqlaymiz:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 D_1^3}{n_2 D_2^3};$$

$$n_2 D_2^3 = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot n_1 D_1^3; n_2 = \left( \frac{Q_1}{Q_2} \cdot n_1 D_1^3 \right) \div D_2^3;$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^2}{n_2^2 D_2^2};$$

$n_2$  - qiymatni o'miga qo'yamiz.

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^2}{\left[ \left( \frac{Q_1}{Q_2} n_1 \cdot D_1^3 \right) \div D_2^3 \right] \cdot D_2^2};$$

$$\frac{12}{18} = \frac{1800^2 \cdot 250^2}{\left[ \frac{1800(250)^3}{D_2^3} \cdot 1,56 \right]^2 \cdot D_2^2} = \frac{1800^2 \cdot 250^2 \cdot D_2^6}{1800^2 \cdot 250^6 \cdot 1,56^2 \cdot D_2^2},$$

$$\frac{12}{18} = \frac{D_2^4}{250 \cdot 1,56^2},$$

$$D_2 = 250 \cdot \sqrt[4]{\frac{12}{18} \cdot 1,56^2} = 250 \cdot \sqrt[4]{1,627} = 250 \cdot 1,13 = 282,5 \text{ mm}$$

Aylanishlar chastotasini aniqlaymiz:

$$n_2 = \left( \frac{Q_1}{Q_2} \cdot n_1 \cdot D_1^3 \right) \div D_2^3 = \frac{1,56 \cdot 1800 \cdot 250^3}{(282,5)^3} = 1952 \text{ ayl/min}$$

Javob:  $D_2 = 282,5 \text{ mm}$   $n_2 = 1952 \text{ ayl/min}$ .

1.6. Suyuqlik xarakteristikasi  $H=H_0-k_1 Q^2$  tenglama orqali ifodalanuvchi markazdan qochma nasos orqali uzatiladi. Nasosning berishi kerak bulgan dam  $H_k-k_1 Q^2$  tenglama bilan ifodalangan bulsa, nasos uzatayotgan sarfi va dami aniqlansin. Agar nasosning aylanishlar sonini va qarshilik koefisientini  $k_1$  ni ikki marta oshirilganda, uzatilayotgan sarfi va dami qancha buladi?

Echimi: masala ikki usulda echiladi.

### I.Analitik usul.

1.  $H=H_0-k_1 Q^2$  va  $H^*=k_2 Q^2$  tenglamani birgalikda ehib,  $Q$  va  $H$  ni aniqlaymiz:

$$H_0 - k_1 Q^2 = k_2 Q^2$$

$$Q = \sqrt{\frac{H_0}{k_1 + k_2}} = \sqrt{\frac{5}{100000}} = 0,00707 m^3/s \quad Q = 7,07 l/s$$

$$H = 5 - 50000 \cdot 0,00005 - 5 - 25$$

2. Aylanishlar soni chastotasi va quvurning qarshiligi ikki marta ortgan holda (1.19), (1.20) formulalardan foydalanib:

$$\frac{H_0}{H_0} = \frac{n^2}{n'^2}, \quad H_0 = H_0 \frac{n^2}{n'^2} = H_0 \left(\frac{2}{1}\right)^2 = H_0 \cdot 4 = 5 \cdot 4 = 20m$$

$$H_0 = 20m$$

$$Q' = \sqrt{\frac{H_0}{k_1 + k_2}} = \sqrt{\frac{20}{150000}} = 0,0115 m^3/s; \quad Q' = 0,0115 m^3/s;$$

$$H' = H_0 - k_1 Q'^2 = 20 - 0,05 \cdot 10^6 \cdot 0,000133 = 20 - 6,67 = 13,33m$$

Javob:  $Q=7,07 l/c$   $N=2,5m$

$Q'=11,5 l/c$   $H'=13,3 m$

II. Grafoanalitik usul.

1.  $H=H_0-k_1 Q^2$  tenglamadan foydalanib nasos dam xarakteristikasini chizamiz.

1-jadval

Q, l/s	0	1	2	3	4	5	6	7	8
H, m	4,95	4,8	4,55	4,2	3,75	3,2	2,55	1,8	0,95

tenglamadan foydalanib qurilma xarakteristikasini chizamiz.

2-jadval.

	2	3	4	5	6	7	8	9
05	0,2	0,45	0,3	1,25	1,8	2,45	3,2	4,15

1 va 2 jadval asosida masshtabda nasosning dami (1) va nasos qurilmasining (2) xarakteristikalari quriladi (18-rasm).

Bu xarakteristikalar kesishgan nuqtasi ishchi nuqtasi (A)ni beradi.

Grafikdan  $Q_A=7,01 l/c$ ;  $H_A=2,5m$  qiymatlarni olamiz.

B) aylanishlar chastotasini va quvurning qarshiligi ikki marta oshirilgan

3-jadval

Q, l/s	2	4	6	8	10	12	14
H, m	19,8	9,2	18,2	16,8	15,0	12,8	10,2

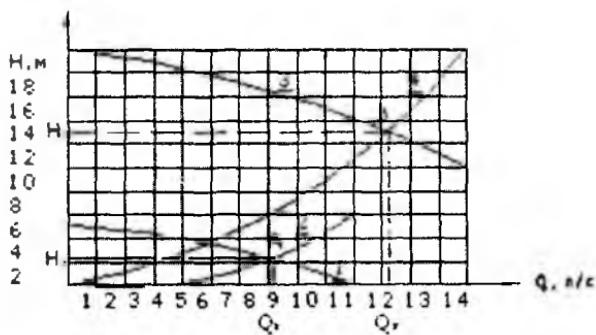
## 4-jadval

Q, l/s	2	4	6	8	10	12	14
H, k	0,4	1,6	3,6	6,4	10,0	14,4	19,6

3va 4 jadval asosida nasosning dam (3) va nasos qurilmasining xarakteristikalarini qurilib (1-rasm) ikkinchi ishchi nuqta (V) aniqlanadi va grafikdan  $Q_B=11,5 \text{ l/c}$ ,  $H_B=13,3\text{m}$  qiymatlarni olamiz.

Javob  $Q_A=7,11 \text{ l/c}$ ,  $H_A=2,5\text{m}$ ;

$Q_B=11,5 \text{ l/c}$ ,  $H_B=13,3\text{m}$



8-rasm.

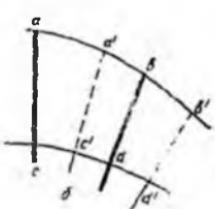
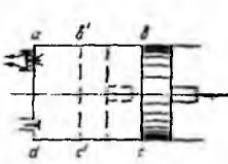
## II bo'lim. HAJMIY NASOSLAR

### XVI bob. HAJMIY NASOSLAR TO'G'RISIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

#### 2.26-§. Hajmiy nasoslar va ularning ishlash prinsipi

Hajmiy nasoslar suyuqlikiing ma'lum bir hajmini ajratib olib, unga kuch ta'sir qilish yuli bilan harakatga keltiradi. Ajratib olingan hajm u juda kichik bo'lishiga qaramay, bu jarayon vaqt birligida juda ko'p marta takrorlagani ucchun, bunday nasoslar bizni kerakli miqdordagi suyuqlik bilan ta'minlay oladi.

Energiya nuqtai nazaridan qaraganda, hajmiy nasoslar ajratib olingan xajmdagi suyuqlikning potensial energiyasini oshirib beradi. Bu potensial energiyadan ikki xil usulda foydalanish mumkun: suyuqlikni yuqorida ko'tarish yoki trubada oqizish; foydali ish bajarish yoki ikkinchi bir mexanizmni harakatga keltirish. Birinchı holda suyuqlikka energiya berayotgan mexanizm nasos sifatida ishlasa, ikkinchi holda gidrouzatma sifatida ishlaydi. Suyuqlikka potensial energiya berish uni nasosning harakatlanuvchi qismlarining ta'sirida siqish yo'li bilan amalgalashadi. Bu jarayon ajratib olingan va biror bo'limni to'latgan suyuqlikka katta bosim berish yo'li bilan yoki ajratib olingan suyuqlikni katta kuch yordamida o'zgarib boruvchi sohaning ichida kattaroq hajmli qismidan kichikroq hajmli qismiga siljitisht yo'li bilan amalgalashadi.



2.27-rasm. Hajmiy nasoslarning  
ishlash prinsipi

Birinchı usulga suyuqlikni porshenli va plunjjerli nasoslarda siqish misol bo'ladi. Bunda ish bo'lmasisiga so'rish klapani yordamida so'rib olingan suyuqlik hajmiga siqish vaqtida plunjjer yoki porshenning bosimi natijasida potensial energiyasi oshib borib, bosim ma'lum chegaraga yetgandan keyin

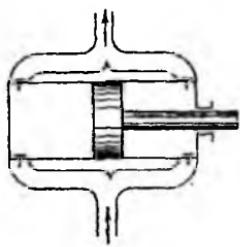
haydash klapani ochiladi va undan suyuqlik katta tezlik bilan otilib chiqadi. Bu jarayondagi suyuqlik hajmining kamayishi 2.27-rasmida  $absd$  vaziyatdan  $a'b's'd'$  vaziyatga o'tishi va haydash klapanidan suyuqlikning chiqaboshlashi ko'rinishida tasvirlangan. Amalda, suyuqliklar kam siqiluvchan bo'lganligi uchun, suyuqlikning siqilishi shaklda ko'rsatilganidek katta bo'lmaydi. Ikkinchi usulda suyuqlik aylanma harakat qilayotgan ikki plastinka (plastinkali nasoslar) yoki boshqa turdag'i ikki to'siq

(shesternyali, vintli, nasoslar) orasida harakat qiladi. Bunda hajmnning kamayishi 2.27-rasm, b da vaziyatdan *absd* vaziyatga o'tishi bilan tasvirlangan. Ko'rilayotgan usulda suyuqlik energiyasining ortishi hajm o'zgarmasdan, suyuqliknin chegaralovchi to'siqlarning juda katta tezlik bilan harakatlanishi bilan ham amalga oshirilishi mumkin (shesternyali, vintli nasoslar).

## 2.27- §. Hajmiy nasoslarning umumiy xossalari va ularning klassifikasiysi

Hajmiy nasoslarning sarflari katta bo'lmaydi, lekin ular yordamida yuqori bosim olish mumkin. Shuning uchun ularni kamroq suyuqlik tortiladigan, biroq yuqori bosim kerak bo'ladigan sharoitlarda juda ko'p qo'llaniladi. Hajmiy nasoslar suyuqliklarga siqvuchi kuchning qaysi usulda berilishiga qarab ikki katta turga bo'linadi. Birinchisi ish bo'lmasi harakatlanmaydigan va boshqaruvchi zvenosining harakati ilgarilama-qaytma harakatga aylantiriladigan mashinalardir. Bu larga porshenli va plunjерli nasoslar kiradi va suyuqlikka kuch porshen yoki plunjerning harakat yo'nalishida beriladi. Ikkinci tur nasoslarda siqvuchi bo'lma rotor bilan birga aylanadi va kuch suyuqliknin shegaralovshi to'siqlar harakati yo'nalishida beriladi. Bunday nasoslar rotorli nasoslar deb ataladi. Hajmiy nasoslar 2.28-rasmida keltirilgan sxema bo'yicha guruhlanishi mumkin. Porshenli nasoslar siqvuchi organining va ish bo'lmasining tuzilishiga qarab porshenli hamda plunjерli nasoslarga bo'linadi. Bu nasoslar bir vaqtda ishlaydigan ish bo'lmalari bitta yoki ko'p harakatli nasoslarga bo'linadn. Ko'p harakatli nasoslarga ikki, uch, to'rt, besh va olti harakatli nasoslar kiradi.





**2.29 - rasm. Ikki harakatli porshenli nasosning principial sxemasi**

Oddiy bir harakatli nasoslarda ish bo'lmasi bitta bo'lib boshqaruvi zvenoning bitta to'la aylanishiga bir marta so'rish va bir marta xaydash to'g'ri keladi. Ikki harakatli nasosda ish bo'lmasi ikkita bo'ladi. Bunda boshqaruvchi zveno (tirsakli valning bitta to'la aylanishiga ikki marta so'rish va ikki marta haydash to'g'ri keladi. Ikki harakatli nasoslarda bir porshenning ikki tomonida ikki bo'lma bo'lib (2.29-rasm) porshen oldinga yurganda bir kamerada haydash ikkinchi kamerada so'rish amalga oshiriladi. Porshen orqaga yurganda esa, aksincha birinchi kamerada so'rish va ikkinchi kamerada haydash bajariladi. Ikki harakatli nasoslar ikki silindrda ikki porshenning ishlashi bilan ham amalga oshirilishi mumkin.

Ko'p harakatli nasoslarda boshqaruvchi zvenoning bitta to'la aylanishiga nasosning harakat soniga teng miqdorda so'rish va haydash to'g'ri keladi (masalan, uch xarakatli nasosda ush so'rish va uch haydash, to'rt harakatli nasosda to'rt so'rish va to'rt haydash va h.). Bunday nasoslarda tirsakli valga o'rnatilgan bir necha porshen o'z silindrlarida harakatlanadi va porshenlar soni nechta bo'lsa, nasos shuncha harakatli bo'ladi.

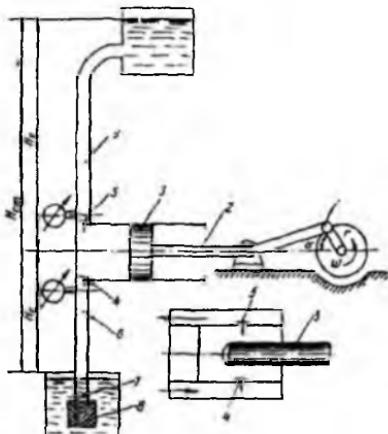
Porshenli nasoslarning tuzilishi har xil bo'lib, u ishlaydigan sharoitiga qarab tanlab olinadi. Masalan, vertikal harakatlanuvchi porshenli nasoslarda (quduqlardan suv tortishda) so'rish klapanlari porshenning o'ziga joylashtirilgan bo'ladi.

Porshenli nasoslarning boshqaruvchi zvenosi sharoitga qarab krivoship-shatunli yoki mushtumchali mexanizmdan harakatga keltirilishi mumkin. Rotorli nasoslardan siqilayotgan suyuqlikni chegaralovchi to'siqlar shakli, harakatlanishiga qarab turlicha bo'lishi mumkin. Masalan, plastinkali nasoslarda to'siqlar plastinka shaklida bo'lib, sirtiga tik yo'nalishda aylanma harakat qilsa, vintli nasoslarda to'siqlar vint shaklida bo'lib, aylanish yo'nalishi sirtga qiya bo'ladi. Aksial va radial porshenli nasoslardan esa aylanma korpusda ekstsentrifik joylashgan valga o'rnatilgan va qiya sirtga tiralgan aylanuvchi silindrarda harakatlanuvchi porshenlar ishiga asoslangan. Rotorli nasoslarning tuzilishi xilma-xil bo'lib, ularning barchasini 2.28-rasmida keltirilgan

guruhash sxemasiga joylashtirish mumkin emas. Shuning uchun quyida faqat eng ko‘p tarqalgan nasoslar ustida to‘xtalib o‘tamiz.

## XVII bob. PORSHENLI VA PLUNJERLI NASOSLAR

### 2.28- §. Porshenli va plunjерli nasoslarning tuzilishi hamda ishlatalish sohalari



2.30 - rasm. Bir harakatlı porshenli  
(plunjерli) nasosning ishlash sxemasi

Porshenli nasos qurilmasining eng sodda sxemasi 2.30-rasmida keltirilgan.

Bu nasoslarda suyuqlikning so‘rilishi va haydalishi porshen yoki plunjerning (2.30-rasm) silindrda ilgarilama-qaytma harakatiga asoslangan. Bunda porshen 3 (2.30-rasm) yoki plunjер 3 (2.30- rasm, a) tarkibida shtok 2 bo‘lgan krivoship-shatunli mexanizm 1 yordamida harakat qiladi. Porshen (plunjер) silindr ichida qaytma (orqaga) harakat qilganida uning oldidagi ish bo‘lmasining hajmi ortib siyraklanish hosil bo‘ladi. Bu siyraklanish ma’lum bir chegaraga yetganida ish bo‘lmasidagi bosim bilan tirkak klapan 7

ostidagi xrapovikda bo‘lgan bosim orasidagi farq so‘rish klapani 4 ni oshadi va suyuqlik so‘rish trubasi 6 orqali ish bo‘lmasiga kiradi. So‘rish jarayoni porshen (plunjер) o‘zining eng chekka so‘rish chegarasiga etgunsha davom etadi. Bunda so‘rish trubasidagi siyraklanish so‘rish klapani oldiga joylashtirilgan vakuummetr yordamida o‘lchanadi. Ta’minlovshi idishdagi suyuqlik sathidan nasos silindrining eng yuqori sathigacha bo‘lgan balandlik so‘rish balandligi ( $H_s$ ) deyiladi. So‘rish balandligi chegaraviy so‘rish balandligi  $H_r$  dan katta bo‘lmasligi kerak.

Porshen (plunjер) ilgarilama (oldinga) harakat qilganda esa ish bo‘lmasidagi bosim ortib, so‘rish klapani yopiladi. Bo‘lmadagi bosim ortishida davom etib haydashga etarli bosim  $p_x$  ga etganida haydash klapani ochilib, suyuqlik haydash trubasi 9 ga o‘ta boshlaydi. Suyuqliknii haydash porshen eng chekka haydash chegarasiga yetguncha davom etadi.

Nasosni ishga tushirganimizda u avval so‘rish trubasidagi havoni tortadi va suyuqlik so‘rish trubasiga ko‘tariladi. Nasos biroz vaqt ishlagandan so‘ng so‘rish trubasi va silindrini havo haydab chiqarilib, suyuqlik silindrni to‘ldiradi. Shundan so‘ng nasos moslangan tartibda ishlay boshlaydi. Natijada ta‘minlovchi idishdagi suyuqlik qabul qiluvchi idishga o‘ta oshlaydi.

Silindrini yuqori sath bilan suyuqlik ko‘tarilgan eng yuqori sathlarning farqi haydash balandligi ( $H_r$ ) deyiladi.

So‘rish balandligi bilan haydash balandligining yig‘indisi  $H_u = H_c + H_x$  nasosning tortish balandligi yoki to‘liq statik bosimdan iboratdir.

Yuqorida aytganimizdek porshenli nasoslar yuqori bosim kerak bo‘lgandagina ishlataladi. Amalda, ko‘p hollarda, porshenli nasoslar markazdan qoshma nasoslarni siqib chiqaradi. Hajmiy gidrouzatmalar tarkibida ishlayotgan nasoslar asosan porshenli nasoslar turiga kiradi. Bu aytiganlardan tashqari porshenli nasoslarning yana bir ustunligi foydali ish koeffisiyentining yuqoriligidir.

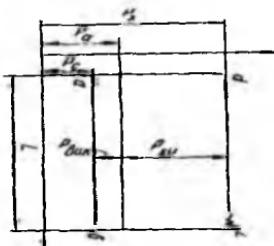
Porshenli nasoslarning markazdan qoshma nasoslardan yana bir farqi shundaki, uning so‘rishi haydash trubasiga o‘rnatilgan berkitkish yordamida o‘zgartirib bo‘lmaydi. Lekin haydash trubasining kesimi kichrayib borishi bilan tezlik ortib boradi va berkitkich oldida bosim ortib boradi. Agar berkitkish butunlay beqitib qo‘yilsa, bosim juda kattalashib ketishi natijasida yo nasos buziladi, yoki truba yoriladi, yo bo‘lmasa zo‘riqishning ortib ketishi, natijasida dvigatel to‘xtab qoladi. Shuning uchun porshenli nasoslardan yuqori bosimda o‘zgarmas so‘rish zarur bo‘lgan hollarda foydalaniadi.

Porshenli nasoslarning markazdan qoshma nasoslarga taqqoslangandagi asosiy kamshiligi ularning kattaligi, qimmatga tushishi, ishlatalishning murakkabligidir. Bu nasoslarga markazdan qoshma nasoslarga qaraganda ko‘proq qarab turish va diqqat talab qilinadi. Chunki porshenli nasoslarning klapanlari tez-tez ifloslanab turadi. Ifloslanish nasosning boshqa qismlarida ham bo‘ladi.

## 2.29-§. Indikator diagramma

Porshenli nasosning silindrini absolyut bosimning porshenning yurishiga yoki ish bo‘lmasi hajmining o‘zgarishiga bog‘liqligini ko‘rsatuvchi yopiq shiziqdan iborat grafik indikator diagramma deyiladi. U ishlab turgan nasos silindriga o‘rnatilgan va

indikator deb ataluvchi maxsus asbob yordamida chizib olinadi. 2.31-rasmda oddiy bir



harakatli porshenning taxminiy indikator diagrammasi keltirilgan. Diagrammada *ab* chizig'i so'rish holatiga mos keladi. Bu holatda silindrda bosim so'rish bosimi  $p_s$  ga teng va atmosfera bosimidan kichik bo'ladi. So'rish va atmosfera bosimlarining farqi  $p_a - p_s$  ta'sirida so'rish klapani ochiq holatda tutib turiladi. Porshenning eng chekka so'rish holatiga *b* nuqta to'g'ri keladi. Bu holatdan boshlab, porshen oldinga qarab yuraboshlaydi.

2.31 - rasm. Porshenli nasos indikator diagrammasining taxminiy sxemasi

Bunda bosim ortaboshlaydi, so'rish klapani yopiladi. Porshenning oldinga yurishi davomida (*bs* shiziq) bosim ortib borib, haydash bosimi  $p_x$  ga tenglashadi. Shu vaqtan boshlab haydash klapani ochiladi va u butun haydash jarayoni davomida (*sd* chizig'i) ochiq turadi.

Bu vaqtida suyuqlik  $p_x$  bosim ostida haydash trubasiga kiradi. Porshenning eng chekka haydash holati *d* nuqtaga to'g'ri kelib, bunda haydash jarayoni tugaydi.

Porshen orqaga harakat qilaboshlashi bilan silindrda bosim kamayib, haydash klapani yopiladi. Bosim pasayib borib (*ds* shizig'i)  $p_s$  ga etganidan so'ng yana so'rish klapani ochilib, surish jarayoni boshlanadi. Klapanlar ochilishining boshida (*a* va *s* nuqtalar) so'rish inersiya kuchi ta'sirida o'zgarib turadi.

Indikator diagrammasidagi yopiq *absd* chiziq bilan chegaralangan yuza porshenning bir marta borib-kelishida bajargan ishi  $A_1$  ni ifodalaydi:

$$A_1 \approx (p_x - p_c)L = p_{xu}L$$

Porshenning suyuqlikka bergen quvvati indikator quvvat deyiladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$N_u = \frac{p_{xu}SLn}{60}, \text{ kGm/s} \quad (17.1)$$

bu yerda *S* – porshenning yuzi; *L* – porshenning yo'li;  $p_{xu}$  – indikator bosimi; *n* – aylanishlar soni.

Indikator quvvat foydali quvvat bilan quyidagicha bog'langan:

$$N_u = \frac{N_f}{\eta_u} \quad (17.2)$$

bu yerda  $\eta_u$  – indikator FIK.

Shunday qilib, indikator diagramma nasosning quvvatini aniqlashga yordam beradi.

### 2.30-§. Porshenli nasoslarning foydali ish koeffisienti

Porshenli nasoslarda ham markazdan qoshma nasoslardagi kabi, energiyaning yo‘qotilishi mayjud bo‘lib, u mexanik va gidrodinamik qarshiliklarni yengishga sarf bo‘ladi. Bularidan biri hajmiy yo‘qotish bo‘lib, unga nazariy sarf bilan haqiqiy sarfnинг teng emasligi sababdir. Oddiy bir harakatli porshenning nazariy sarfi

$$Q_n = SL \frac{\eta}{60}$$

formula bilan hisoblanadi.

Haqiqatda esa, porshenning bir marta borib kelishida tasvirlangan hajmi  $SL$  ga teng hajmli suyuqlikning hammasi haydash trubasiga tushmaydi. Bir qism suyuqlik porshen bilan silindr devori orasidagi tirqish orqali va salnikdagagi tig‘izlagichning kamchiligi sababli tashqariga sizib o‘tadi. Haydash davri tugab, so‘rish boshlanganda haydash klapanining va so‘rish davri tugab, haydash davri boshlanganida so‘rish klapanining bir onda yopilmasligi natijasida (yopilish davri qisqa bo‘lsa) ham juda oz miqdordagi suyuqlik orqaga qaytishga ulguradi. Natijada haqiqiy sarf nazariy sarfdan kam bo‘ladi. Haqiqiy sarfnинг nazariy sarfga nisbati hajmiy foydali ish koeffisienti deyiladi va haqiqiy sarf  $Q_x$  ning nazariy sarf  $Q_n$  ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\eta_Q = \frac{Q_x}{Q_n} \quad (17.3)$$

Nasosning tuzilishi va uning eskirganlik darajasiga qarab  $\eta_Q = 0,85, 0,99$  chegarada o‘zgaradi. Nasosning suyuqlikni ko‘tarish uchun sarflayotgan energiyasi uning haydash trubasida hosil qilgan bosimi  $H_x$  bilan belgilanadi. Bu bosim so‘rish bosimi  $H_c = \frac{P_c}{\gamma}$

haydash bosimi  $H_x = \frac{P_x}{\gamma}$  nasosdagi va haydash trubasidagi hidrolik qarshiliklarni yengishga sarf bo‘lgan bosimlar yig‘indisi  $H_n + H_m$  orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$H = \frac{P_v}{\gamma} - \frac{P_c}{\gamma} + H_n + H_m. \quad (17.4)$$

$H_n$  va  $H_m$  lar ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni hisoblash formulalari yordamida aniqlanadi.

Nasosning foydali bosimi  $H$  ga esa trubalardagi gidravlik qarshilik kirmaydi:

$$H_f = H_x - H_c + H_n. \quad (17.5)$$

Vakuummetr va manometrlar ko'rsatuvidan aniqlangan indikator bosim

$$H_u = \frac{P_v}{\gamma} - \frac{P_c}{\gamma} \quad (17.6)$$

ga teng. Manometrik bosim  $H_x = H_m$  degan tushunchani kiritamiz. U holda nasos va nasos qurilmasidagi yo'qotishlarni gidravlik FIK

$$\eta_p = \frac{H_u}{H_i} \quad (17.7)$$

va qurilmaning FIK

$$\eta_q = \frac{H_f}{H}$$

orqali ifodalanadi.

Nasosning suyuqlikni ko'tarish uchun sarflagan foydali quvvatini

$$N_f \approx \gamma Q_f H_m$$

ni topsak, u holda indikator FIKni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\eta_u = \frac{N_f}{N_u}.$$

Yuqorida keltirilgan (17.2), (17.7) tengliklardan va oxirgi formuladan ushbu munosabat kelib chiqadi:

$$\eta_u = \frac{N_f}{N_u} = \frac{\gamma Q_f H_m}{\gamma Q_f H_u} = \eta_q \eta_p. \quad (17.8)$$

Indikator quvvatning porshenga berilgan quvvat  $N_p$  ga nisbati mexanik FIK dan iborat.

$$\frac{N_u}{N_p} = \eta_m \quad (17.9)$$

Bundan foydalanim nasosning to'liq foydali ish koeffisientini topish mumkin:

$$\eta = \frac{N_f}{N_p} = \frac{N_f}{N_u} \frac{N_u}{N_p} = \eta_u \eta_m.$$

Bundan ko'rindaniki, nasosning to'liq FIK i hajmiy, gidravlik va mexanik FIK larning ko'paytmasiga teng ekan:

$$\eta = \eta_q \eta_p \eta_m. \quad (17.10)$$

Demak, nasos olgan to'liq quvvat quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{Q_H H_m \gamma}{102\eta} \\ N &= \frac{Q_H H_m}{75\eta} \gamma o.k \\ N &= \frac{Q_n H_m \gamma}{1000\eta} kVt \end{aligned} \right\} \quad (17.11)$$

Oxirgi formulada hisob SI sistemasida bajarilishi kerak. Nasos ishlab turganida dvigatelning sarflagan quvvati nasos foydalangan quvvat bilan quyidagicha bog'langan bo'ladi:

$$N_{dv} = \alpha \frac{N}{\eta_{ish}}$$

bu yerda  $\eta_{ish}$  boshqaruvchi zvenodagi ishqalanish kuchlarini belgilovchi FIK,  $\alpha = 1,1 \div 1,2$  – quvvatning zapas ko'effisienti; dvigatel ko'proq zo'riqib ishlagan holni hisobga oladi.

Nasosning foydali ish ko'effisientlarini:  $\eta_g = 0,9 \div 0,98$ ;  $\eta_m = 0,95 \div 0,98$ ;  $\eta = 0,65 \div 0,9$  chegarada olinadi. Bu qiymatlar nasosning turiga va uning eskirganlik darajasiga bog'liq bo'lgani uchun aniq ko'rsatilmaydi.

### 2.31-§. So'rish grafigi va uni tekislash usullari

Porshenning silindriddagi harakati uning yo'li  $L$  bo'yicha bir xil emas. Krivoship-shatunli mexanizmning aylanishiga bog'liq bo'lgani uchun porshenning yo'l tenglamasi

$$x = r(1 - \cos \omega t)$$

ko'rinishida ifodalanadi. Porshenning bu tenglamadan aniqlangan tezligi ushbu ko'rinishga ega:

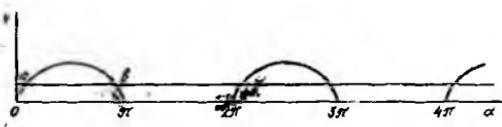
$$v = \frac{dx}{dt} = r\omega \sin \omega t$$

Shunday qilib, porshenning tezligi krivoship-shatunli mexanizmning radiusi  $r$  burchak tezligi  $\omega$  ga bog'liq bo'lib, shatunning krivoship mahkamlangan nuqtasidagi aylana tezlikning shtok yo'nalishidagi proyeksiyasiga teng. Agar bu aylana tezlikni  $u = r\omega$  deb, aylanish burchagini  $\alpha = \omega t$  deb belgilasak, oxirgi tenglikni ushbu ko'rinishda yozamiz (2.32-rasm):

$$v = u \sin \alpha$$

Shunga asosan, vaqt birligida porshen silindrda haydar chiqarayotgan suyuqlik miqdori nasosning so'rishi deb ataladi va quyidagicha aniqlanadi:

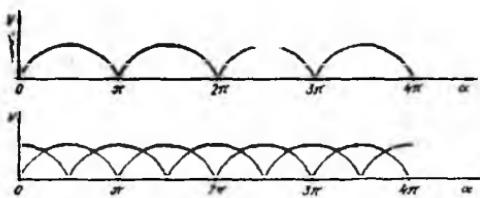
$$V = vS = uS[\sin \alpha] \quad (17.12)$$



**2.32 - rasm. Porshenli nasosda so'rishning**

**notekisligini ko'rsatuvchi sxema**

haydash davriga to'g'ri keladi.  $\sin \alpha$  ning manfiy qiymatlarida nolga teng bo'lib, so'rish davriga to'g'ri keladi. Oddiy bir harakatlari nasosning so'rish grafigi 2.32- rasmida tasvirlangan. Bundan ko'rinishib turibdiki, porshenning borib-kelishida haydash davriga to'g'ri kelgan so'rish (sarif) grafikda tasvirlangan sinusoida bilan abshtissa o'qi orasidagi yuzaga teng bo'lib, so'riliish davriga to'g'ri kelgan so'rish nolga teng. So'rishning bunday notekisligi, ko'p hollarda bir tekis so'rish zarur bo'lganligi sababli, ishlab chiqarish talabiga javob bermaydi. Bundan tashqari, trubadagi notekis tezlik inersiya kuchini engishga anchagina energiyaning sarf bo'lishiga sabab bo'ladi. Ikki harakatlari nasoslarning so'rish grafigi 2.33-rasm, a da keltirilgan. Rasmdan ko'rinchiki, bunday



**2.33 - rasm. Ikki va uch haraktli**

**porshenli nasoslarda so'rishning tekisroq bo'lishi**

harakatlari nasoslarda esa so'rish yana ham to'g'riroq bo'ladi (2.33-rasm, b). Bu nasoslarning so'rish grafigidan ko'rinchaki, abshtissa o'qining hech qaysi nuqtasida so'rish nol bo'lmaydi, boshqasha aytganda so'rish to'g'ri shiziqga juda yaqin bo'ladi.

Porshenli nasoslarda so'rishning notekisligini maksimal tezlikning o'rtacha tezlikka nisbatli bilan ifodalanadi. Bunda o'rtacha tezlik deb quyidagi miqdorni nazarda tutamiz:

Bu formula asosida tuzilgan grafik porshenning so'rish grafigi deb ataladi. Keltirilgan formuladan ko'rinchiki,  $\sin \alpha$  ning musbat qiymatlarida nasosning so'rishi sinusoida bo'yicha o'zgarib borib, sinusoida bo'yicha o'zgarib borib, haydash davriga to'g'ri keladi.  $\sin \alpha$  ning manfiy qiymatlarida nolga teng bo'lib, so'rish davriga to'g'ri keladi. Oddiy bir harakatlari nasosning so'rish grafigi 2.32- rasmida tasvirlangan. Bundan ko'rinishib turibdiki, porshenning borib-kelishida haydash davriga to'g'ri kelgan so'rish (sarif) grafikda tasvirlangan sinusoida bilan abshtissa o'qi orasidagi yuzaga teng bo'lib, so'riliish davriga to'g'ri kelgan so'rish nolga teng. So'rishning bunday notekisligi, ko'p hollarda bir tekis so'rish zarur bo'lganligi sababli, ishlab chiqarish talabiga javob bermaydi. Bundan tashqari, trubadagi notekis tezlik inersiya kuchini engishga anchagina energiyaning sarf bo'lishiga sabab bo'ladi. Ikki harakatlari nasoslarning so'rish grafigi 2.33-rasm, a da keltirilgan. Rasmdan ko'rinchiki, bunday

nasoslarda so'rish faqat haydash yoki so'rish boshlanishidagina nolga teng bo'ladi. Abshtissa o'qining boshqa nuqtalarida so'rish nol bo'lmaydi. Shunday qilib, ikki harakatlari nasoslarda so'rish bir amaliy nasoslarga nisbatan to'g'riroq bo'ladi. Ush

$$v_{\phi,r} = \frac{\int_0^{2\pi} u[\sin \alpha] d\phi}{2\pi}.$$

Boshqacha aytganda, o'rtacha tezlik porshenning to'liq borib kelishiga to'g'ri kelgan oraliqda so'rish grafigi bilan abstsissa o'qi orasidagi yuzaning shu yuzaga teng va uzunligi  $2\pi$  – bo'lган to'g'ri to'rtburchak balandligiga teng.

Oddiy bir harakatli nasoslar uchun notekislik

$$\frac{v_{\max}}{v_{o,r}} = 3,14$$

ga teng, ikki harakatli nasoslar uchun esa

$$\frac{v_{\max}}{v_{o,r}} = 1,57$$

Bir va ko'p harakatli nasoslarning notekisligi quyidagicha bo'ladi:

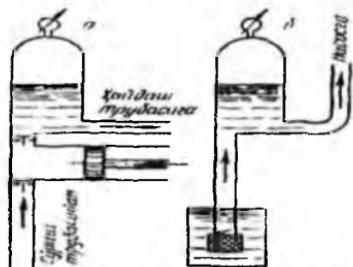
Oddiy bir harakatli	3.14
ikki harakatli	1.57
uch harakatli	1.047
to'rt harakatli	1.11
besh harakatli	1.016
olti harakatli	1.047
yetti harakatli	1.008
sakkiz harakatli	1.026
to'qqiz harakatli	1.005

Bu jadvaldan ko'rinish turibdiki, nasoslarning harakat tartibi ortishi bilan ularning so'rishi tekislanib borar ekan. Demak, harakat tartibini oshirish yo'li bilan nasoslarning so'rishini tekislash mumkin. Bunda harakat tartibi toq bo'lган nasoslar uchun so'rish grafigi tekisroq bo'lishini nazarda tutish kerak.

So'rish grafigini tekislashning ikkinchi usuli havo qalpoqlaridan foydalanishdir. Haydash trubasining boshlanishiga (nasosdan chiqishda) o'rnatilgan havo qalpog'i so'rishning notekisligini kamaytirish bilan birga gidravlik zARBANI ham susyatiradi.

So'rishning tekislanishi quyidagicha bo'ladi. Porshen suyuqlikni haydaganda nasosdan chiqqan suyuqlik yuqori bosimda chiqishi bilan birga suyuqlikning tezligi ham (avvaliga) ortib boradi. Shu vaqtida qalpoqdagi havo siqilib, bir qism suyuqlik unga kiradi. Qalpoq ostidagi havo unga kirayotgan suyuqlikka qaraganda ko'p bo'lGANI

uchun havoning bosimi ko'p o'zgarmaydi. Tezlik kamayib borib so'rish davri boshlanganda, ya'ni nasosdan suyuqlik chiqishi to'xtaganda havo qalpog'i ostidagi suyuqlik haydash trubasiga tushadi. Natijada so'rish grafigi hamda haydash trubasidagi tezlik ancha tekislanadi. Bir harakatli nasosga havo qalpog'ini o'matish sxemasi 2.34-rasm, a da tasvirlangan. Nasosning haydash davrida undan chiqayotgan suyuqlik



**2.34 - rasm. Havo qalpog'ining haydash va so'rish trubasiga o'matish sxemasi**

$v = u : \pi$  ga tenglashib, vaqt birligida haydalgan suyuqlik miqdori  $V = uS : \pi$  ga teng bo'ladi. Bunga tegishli so'rish grafigi 2.32-rasmida to'g'ri chiziq bilan tasvirlangan.

Nasosga kirishdagi suyuqlikning inersiya kuchlarini kamaytirish uchun so'rish trubasiga ham havo qalpog'i o'matiladi. Qalpoqning hajmi kichik bo'lsa, uning so'rishni tekislashi yaxshi bo'lmaydi, katta bo'lsa, nasos qurilmasi kattalashib ketadi. Shuning uchun havo qalpoqlarining hajmini hisoblashga to'g'ri keladi. Qalpoq hajmini hisoblash uchun uning ostidagi havoning maksimum va minimum hajmlarini yoki shuning o'zini ko'rsatuvchi suyuqlikning maksimum va minimum hajmlarini hisoblash kerak. Minimum hajm 2.32-rasmida sinusoidaning to'g'ri chiziq bilan kesishgan  $a$  nuqtasiga, maksimum hajm  $b$  nuqtasiga tug'ri keladi. Bu hajmlarning farqi  $ab$  to'g'ri chiziq bilan sinusoidaning yuqori qismi orasidagi yuzaga teng. Bu yuzani hisoblash natijasida ushbu tenglikni olamiz:

$$V_{\max} - V_{\min} = 0,55SL.$$

Shuningdek, hisoblash yo'li bilan quyidagilarni olamiz:

ikki harakatli nasoslar uchun  $V_{\max} - V_{\min} = 0,21SL$ .

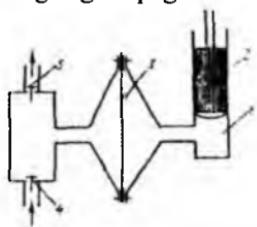
uch harakatli nasoslar uchun  $V_{\max} - V_{\min} = 0,009SL$ .

Ko'p harakatli nasoslarda tezlik yuqori darajada tekislangan bo'lishini yuqorida aytib o'tgan edik. Bunda havo qalpoqlarining zarurati qolmaydi. Lekin ko'p silindrli

nasoslarda bir yoki bir necha silindrning birdan ishlamay qolish hollari bo'ladi. Bu holda so'rishning tekisligi birdan o'zgaradi va bu o'zgarish juda katta miqdorlarga etishi mumkin. Shuning uchun ko'p silindrli nasoslarda ham, ayniqsa haydash yo'liga, havo qalpog'ini o'rnatish maqsadga muvofiqdir.

## 2.32-§. Diafragmali nasoslar

Ximiyoviy aktiv suyuqliklarni va qattiq modda zarrachalari aralashgan suyuqliklarni so'rish uchun porshenli nasoslarning maxsus turlari ishlataladi. Bunday nasoslarning eng tarqalgan turi diafragmali yoki membranalni nasosdir (2.35-rasm).



2.35 - rasm. Diafragmali nasoslar.

Bu nasoslar ishlash prinsipi bo'yicha oddiy bir harakatli plunjерli nasoslarga o'xshaydi va suspenziyalar hamda metall qismlarning yemirilishiga katta ta'sir qiluvchi aktiv suyuqliklarni so'rishda ishlataladi. Nasosning silindri 1 va plunjeri so'rileyotgan suyuqlikdan elastik to'siq 3 – diafragma (membrana) bilan ajratilgan bo'lib, to'siq yumshoq rezina yoki maxsus po'latdan ishlanadi. Plunjер orqaga yurganda diafragma bo'lmasining o'ng qismida siyraklanish hosil bo'ladi. Natijada diafragma o'ng tomonga egilib, siyraklanish bo'lmaning chap tomoniga, so'ngra nasosning ish bo'lmasiga beriladi. Bu esa xuddi porshenli nasoslardagi kabi so'rish klapani ochilib, so'rish jarayoni boshlanishiga sabab bo'ladi. Plunjер oldinga yurganda esa diafragma bo'lmasining o'ng qismida bosim ortib diafragma chagpa egiladi. Spu yo'il bilan bosimning ortishi ish bo'lmasiga berilib, so'rish klapani 4 yopiladi, so'ngra haydash klapani 5 ochilib, suyuqlikni haydash boshlanadi. Bunda plunjер va silindr so'rileyotgan suyuqlikdan ajratilgani uchun, ximiyaviy aktiv moddalar ta'sirida bo'lmaydi va zanglash, erroziya hodisalaridan holi bo'ladi. Nasosning so'rileyotgan suyuqlikka tegib turadigan qismlari (ish bo'lmasi, klapanlar va h.) kislotaga chidamli materiallardan ishlanadi yoki kislotaga chidamli moddalar bilan qoplanadi.

Bu nasoslarning indikator diagrammasi va so'rish grafigi porshenli nasoslar-niga o'xshash bo'ladi. Nasosga berilgan quvvatning bir qismi (yuqorida aytilgan sarflardan tashqari) diafragmaning elastiklik kuchini engishga sarf bo'ladi. Shuning

uchun FIK ham kamroq bo'ladi. Diafragmani elastikligi kichik materialdan tayyorlab bu yo'qotishni kamaytirish mumkin.

### **Amaliy mashg'ulotlarni bajarishga doir ko'rsatma Masalalar**

2.1. Plastinkali nasosning ulchamlari quyidagicha: statorning ichki qismi diametri  $d=100\text{mm}$ ; ekssentrisitet  $l=10\text{mm}$ ; plastinkalar qalinligi  $=3\text{mm}$ ; plastinkalar eni  $b=40\text{mm}$ ; plastinkalar soni  $z=5$ . Agar aylanishlar chastotasi  $n=1450 \text{ ayl/min}$  va nasosdan chiqishdagi bosim  $P = 5 \text{ MPa}$  bulsa. Nasosga sarflangan quvvat aniklansin. Nasosning mexanik foydali ish koefisientini  $\zeta_{\text{sh}} = 0,9$ .

Echimi: 1. (1.31) formulada nasosga sarflangan quvvatni aniqlaymiz

$$N_c = M \cdot \omega$$

Plastinkali (rotorli) nasosning valdag'i momenti

$$M = \frac{1}{2\pi} \rho v \frac{l}{m}$$

Gidromashina ishchi hajmi formuladan aniqlanadi

$$V = 2eb(K2\pi R - \delta z) = 0,00022m^3$$

$$N_c = M\omega = \frac{1222}{2 \cdot 3,14} \cdot \frac{3,14}{30} \cdot 1450 = 30kVt$$

Javob:  $N_c = 30kVt$

2.2. Radial-porshenli gidromotorga uzatilayotgan suyuqlik sarfi uzgarmagan holda, rotoring aylanishlar chastotasini uzgartirish, statorni siljitim, ya'ni ekssentrisitet  $l$  ni uzgartirib amalga oshiriladi. Gidromotor rotori doimiy momenti  $M=300nm$  bilan yuklangan bulib, agar gidromotor kirish qismidagi maksimal bosim  $P_{1max}=20MPA$ , o'zatilayotgan suyuqlik sarfi  $Q=15l/min$ ,  $P_{max}$  da gidromotor hajmi FIK q = 0,90 va shu bosimda mexanik FIK m=0.92 bulsa, gidromotor rotorining maksimal aylanish chastotasi qancha buladi.

Yechimi: radial-porshenli gidromotor (umumiy) FIK

$$\zeta = \frac{N_c}{N} = \zeta_{\phi} \cdot \zeta_n$$

$$P_{\text{ex}} = P_1 - P_2;$$

$$P_{1max}; \quad P_2 = 0$$

$$P_{\text{zm}} = P_1 = 20 \text{ mPa};$$

(1.9) формуладан

$$\zeta = \zeta_q \cdot \zeta_m = 0,9 \cdot 0,92 = 0,828$$

$$\zeta = \frac{N_\phi}{N}; \quad 0,828 = \frac{300 \cdot 0,105n}{0,00025 \cdot 20000000} = \frac{31,5n}{5000};$$

$$0,828 = \frac{31,5n}{5000};$$

Rotoring maksimal aylanishlar chastotasi

$$n = 0,828 \cdot \frac{31,5}{5000} = 132 \text{ ayl/min}$$

Javob:  $n=132 \text{ ayl/min.}$

2.3. Shesternyali nasos validagi aylantiruvchi moment miqdorini va foydali sarfini  $Q_n=0,4 \text{ l/s}$  aniqlang. Agar nasosning nazariy sarfi aylanish chastotasi  $n=25 \text{ ayl/s}$  va nasos bosimi  $P_n = 1,25 \cdot 10 \text{ N/m}^2$ , bo'lsa, mexanik FIK  $\zeta_m = 0,85$ , hajmiy FIK  $\zeta_q = 0,9$  ga teng.

Yechimi: 1. nasosning ishchi hajmi (1.22) formuladan

$$V = \frac{Q_n}{n} = \frac{0,4}{25} = 0,016 \text{ l/ayl} = 16 \text{ sm}^3/\text{ayl}$$

2.Nasos validagi foydali aylantiruvchi moment (1.32) formuladan

$$M_\phi = \frac{v \cdot P_H}{2\pi} = \frac{16 \cdot 1,25 \cdot 10^2}{2\pi \cdot 10^6} = 32 \text{ nm}$$

Nasos valiga berilayotgan aylantiruvchi moment

$$M = \frac{H_\phi}{\zeta_{\max}} = \frac{32,0}{0,85} = 38 \text{ nm}$$

3.Foydali sarf

$$Q_\phi = Q_n \cdot \zeta_q = 0,9 \cdot 0,4 = 0,36 \text{ l/s}$$

Javob:  $M=38 \text{ nm}; Q_\phi=0,36 \text{ l/s.}$

## XVIII bob. ROTORLI NASOSLAR

### 2.33-§. Rotorli nasoslarning tasnifi, umumiy xossalari va qo'llanilishi

Hajmiy rotorli nasoslar – shesternyalı, vintli, plastinkali (shiberli) va porshenli turlarga bo'linadi. Hajmiy rotorli nasoslar o'zgaruvchan sarfli sarfi boshqariladigan va o'zgarmas sarfli (sarfi boshqarilmaydigan) bo'lish mumkin.

Bu turdag'i nasoslarning sarfi ish bo'shilig'i kattaligiga va rotoring aylanishlar soniga bog'liq; nasos elementlarining puxtaligi (shidamliligi) bosim yo'lidagi qarshilikka mos bo'lishi kerak. Agar bosim yo'lidagi berkitkish tasodifan yopiq bo'lib qolsa va nasos himoyalash apparatlari bilan ta'minlanmagan bo'lsa, bu holda yo nasos sinadi yoki nasos dvigateli ishdan chiqadi.

Rotorli nasoslar har xil bir jinsli suyuqliklarni uzatishda avtonom qurilma sifatida, shuningdek, gidroyuritmalar tarkibida suyuqliknı harakatlantiruvshi yoki suyuqlikka kerakli energiya bosim beruvshi nasos holida va harakatlanayotgan suyuqlik orkali o'zi harakat olib energiyasini boshqa mashinalarga qurilmalarga uzatuvshi gidrovvigatellar tarzida ishlatilishi mumkin. Rotorli nasoslarning hajmiy FIK i  $0,7 \div 0,95$  atrofida bo'lib, nasosning ishqalanuvshi qismlarining eyilishiga mos ravishda o'zgaradi. Nasos aniq ishlangani ushun mexanik FIK yuqori bo'ladi.

Silindrlari umumiyl blokka birlashtirilgan ko'p silindrlı nasoslar rotorli-porshenli nasoslar deyiladi. Porshenni harakatga keltirish usuliga qarab aylanuvshi va qo'zg'almas blokli-rotorli-porshenli mashinalar mavjud. Silindrlar blok o'qiga nisbatan radial yoki aksial joylashishi mumkin. Agar blokda silindrlar radial joylashgan bo'lsa – bu nasoslar radial-porshenli deyiladi. Gidromashina blokiga silindrlar aksial joylashgan bo'lsa – aksial – porshenli nasoslar bo'ladi. Ko'pchilik rotorli – porshenli mashinalarning xarakterli tomoni shundaki, ularda so'ruchchi va uzatuvchi klapanlar yo'q. Bu xususiyat nasoslardan aylanishlar sonining yuqori qiymatlarida foydalanish imkoniyatini beradi.

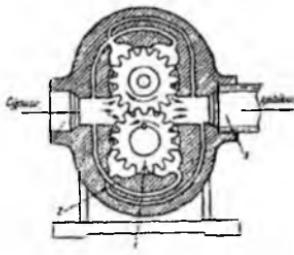
Rotorli-porshenli mashinalarda krivoship-shatunli mexanizm yo'q, lekin bu mashinalarning kinematik asosini krivoship-shatunli mexanizmlarning inversiyasi tashkil qiladi. Bu nasoslar gidrouzatmalarda, metallga ishlov berish stanoklariga moy uzatishda, ichki yonuv dvigate'llariga yoqilg'i, surkov moyi, stanok keskichlariga sovituvchi suyuqlik uzatishda ishlatiladi. Rotorli gidromashinalar tarkibiga kiruvchi

rotorli-plastinkali, shesternyali, vintli, rotorli – porshenli (radial va aksial joylashgan silindrli) nasoslarning konkret ishlatalish joylari to‘g‘risida keyinroq to‘xtab o‘tiladi.

## 2.34-§. Rotorli nasoslarning tuzilishi va xossalari

### a) Shesternyali nasoslar

Shesternyali nasoslarning tuzilishi juda sodda. Oddiy shesternyali nasoslarning asosiy ish detallari ikkita bir xil shesternyadan iborat bo‘lib (2.36- rasm), ular o‘zaro ilashgan va korpus 2 ishiga joylashtirilgandir. Yetaklovshi shesternya harakatni dvigateldan oladi. Nasosda ikkita qopqoq bo‘lib, ularda yetaklovchi va yetaklanuvshi valiklar podshipnik va salniklar bilan ta’minlangan. Nasos korpusida ikkita teshik bo‘lib, bittasi (S) so‘rish teshigi shesternya tishchalar o‘zaro ajralayotgan tomonda, ikkinchisi (H) - haydash teshigi teskari tomonda (tishchalar birikayotgan tomonda) bo‘ladi. Nasosning ishlash prinsipi quyidagicha.



2.36 - rasm. Shesternyali nasoslar

Yetaklovchi val o‘zida o‘rnatilgan shesternysi bilan dvigatel yordamida harakatga keltiriladi, yetaklanuvchi shesternya esa undan aylanma harakat oladi. Shesternyalar aylanayotganda tishlar so‘rish bo‘shlig‘i (S) da bir–biridan uzoqlashadi. Natijada tishlar orasidagi chuqurchada suyuqlik katta tezlikda

olib ketilishi sababli so‘rish bo‘shlig‘ida siyraklanish beradi va so‘rish teshigiga suyuqlik keladi. Tishlar orasidagi chuqurchalardagi suyuqlik tishlar o‘zaro birikkan paytda haydash bo‘shlig‘i ( $X_1$ ) ga siqib chiqariladi, natijada haydash bo‘shlig‘ida bosim ortib, suyuqlik tarmoqqa uzatiladi. Shesternyali nasoslar ishlayotganda tishlar orasidagi chuqurchalarda katta bosim vujudga kelib, u valik va nasos tayanchiga beriladi.

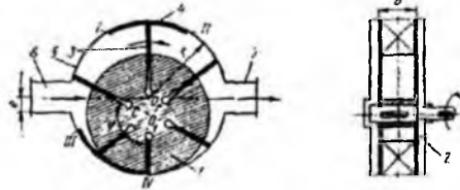
Bu kuchlarni kamaytirish uvchun tishlar orasidagi teshikchalarda suyuqlikning qolib ketishiga yo‘l qo‘ymaslik kerak. Shu maqsadda yuqori bosimli nasoslardagi chuqurchalarda radial kanallar ariqshalar yasaladi. Bu ariqshalardan qoldiq suyuqlik shiqarib yuboriladi, natijada nasos tayanchi va valiklaridagi yuk kamayadi. Shesternyali nasoslar tashqi va ishki ilashuvchi qilib yasaladi. Tashqi ilashuvchi nasoslar ko‘p ishlataladi. Ichki ilashuvchi kompakt nasoslar kichik qurilmalarda ishlataladi. Shesternyali nasoslar hosil qilgan bosimiga qarab past ( $10 \text{ k/sm}^2$  gasha), o‘rtacha (30

$\text{kG/sm}^2$  gacha) va yuqori ( $100 \text{ kG/sm}^2$ ) bosimli bo'ladı. Past bosimli nasoslar stanok va mashinalarning moylash-sovitish sistemalarida qo'llaniladi. O'rtasha bosimli nasoslar kush organlariga harakatni tez uzatish kerak bo'ladigan stanoklarning gidrouzatmalarida (masalan, parmalash va jilvirlash stanoklarida) ishlataladı. Yuqori bosimli nasoslar stanokning ichki organiga katta kuch uzatish lozim bo'lgan gidrouzatmalarida qo'llanadi. Shesternyali nasos 2, 3, 4 va hatto 5 shesternyali bo'lish mumkin, ammo 3 dan yuqori shesternyalarni qo'llaganda FIK kamayib ketadi. 3 shesternyali nasos 2 shesternyaliga nisbatan katta sarfga ega, lekin hajmiy FIK i kishik. Keyingi paytlarda hajmiy FIK ni oshirish maqsadida gidravlik kompensatorli shesternyali nasoslar chiqarila boshladi. Yon shetdagi tirqishlarni gidravlik kompensaisiyalash uchun vtulka kuchli ishqalanish va edirilish hosil qilmaydigan qilib shesternyaga mahkam siqib qo'yiladi. Bundan tashqari, yon qistirmalardan foydalanib yon shet tirqishlarni kichraytirish usulidan ham foydalaniлади. Bu qistirmalar elastik devorli katakchalarga ega bo'lib, shayba holida shesternya bilan nasos korpusi orasiga qo'yiladi. Nasos ishlayotganda devordagi tirqishlardan qistirma katakchalar moyga to'latiladi. Bosim ostida katakcha to'siqlari deformasiyalanadi va tirqishlardan moy mos shesternya yonlariga keladi.

### b) Plastinkali (shiberli) nasoslar

2.37-rasmda oddiy rotorli-plastinkali nasosning tuzilishi ko'rsatilgan. Rotor 1 nasos korpusida bir-biriga mahkam siqilgan disklar 2 orasiga joylashtirilgan.

Nasosning silindrik korpusi ichida aylanuvchi baraban bo'lib, uning o'qi korpus o'qiga nisbatan e masofaga yoki ekstsentritetga siljigandir. Rotor radiusiga tomon ozgina qiyalashgan yoki radial joylashtirilgan uyachalarda plastinkalar (shiberlar) 3 o'matilgan. Statorga taqalgan va rotor bilan birga aylanadigan plastinkalar statorning ichki silindrik



2.37 - rasm. Plastinkali nasoslar

yuzasi bo'ylab sirpanadi hamda rotorga nisbatan ilgarilanma qaytma harakatda bo'лади. Rotor ekstentrik joylashgani sababli rotor bilan stator orasidagi bo'shliqning hajmi kattalashadi. Natijada bosim kamayib, moy bo'shliqni to'latadi. Moy stator chetida

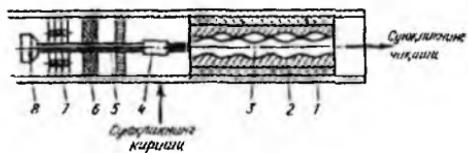
joylashgan va nasosning so‘rish trubasi 6 bilan ulangan tuynuk 5 orqali kiradi va rotorning aylanish yo‘nalishi bo‘ylab plastinkalar yordamida siljishi. Plastinkalar rotor bilan stator oralig‘idagi eng uzoq masofali nuqtadan o‘tgach plastinkalar orasidagi bo‘shliq hajmi kichraya boradi va moy qarshidagi tuynukdan 7 orqali haydash trubasiga siqib chiqariladi. Plastinkali nasoslar o‘zgarmas sarfli va boshqariluvchi sarfli qilib yasaladi. Bu nasoslarda so‘rish pulschanuvchi bo‘lib, eng kam so‘rish nasos ishga tushgan paytda boshlanib, rotorning aylanishi tezlashuvi bilan so‘rish oshib boradi. Eng katta so‘rish stator va rotor orasidagi masofa maksimal uzaygandagi plastinkalar holatiga mos bo‘ladi. Keyinchalik nasosning sarfi kamayib borib plastinkalar eskirganda minimumga etadi. Suyuqlik so‘rishning pulschanishni kamaytirish maqsadida 4 dan 12 gacha plastinka qo‘yiladi. Haydash va so‘rish bo‘shliqlari qo‘shilib ketmasligi uchun I-II va III-IV zichlovchi do‘ngliklar yasaladi. Ularning uzunligi birinchi plastinka zichlovchi do‘nglik chegarasiga kirgan paytda ikkinchisi shu chegaradan chiqib ketadigan kattalikda bo‘lishi kerak. Berk hajmda moyning qolib ketishini yo‘qotish uchun III-IV do‘nglik I-II dan qisqaroq qilinadi. Plastinkali nasoslarda har qaysi plastinka bir aylanish davri ichida bir marta so‘rish va haydashda qatnashadi, shuning uchun ular bir harakatli rotorli plastinkali mashinalar deyiladi.

Bir harakatli rotorli-plastinkali nasoslarning kamchiligi podshipniklarga tushadigan bir tomonlama katta zo‘riqishning mavjudligidir. Bu kamchilikni yo‘qotish uchun ikki xarakatli rotorli-plastinkali nasoslar qo‘llaniladi. Ularda rotor va podshipniklar ortiqcha zo‘riqishsiz ishlaydi. Ikki harakatli nasoslarda so‘rish 2 marta katta va o‘zgarmas miqdorga ega bo‘lib, rotorning buralish burchagiga bog‘liqmas. Chunki bir kameradan ikkinchisiga uzatish shundan bajariladiki, istalgan daqiqada nasosning umumiy so‘rishi bir xil bo‘ladi. Rotorli-plastinkali ikki harakatli nasoslarda so‘rish va haydash tuynuklari orasidagi qismda yo‘naltiruvchi rotor markazidan qo‘yib chizilgan aylana bo‘ylab, tuynuklar egallagan qismda esa Arximed spirali bo‘ylab profillangan. Rotorli nasoslardan kichkina sarfda (5 dan 200 l/min gacha) va yuqori bosimda ( $70$  at  $7 \cdot 10^6$  H/m<sup>2</sup> gacha) moy va boshqa suyuqliklarni uzatishda ishlataladi. Bu moy va suyuqliklar nasosning harakatlanuvchi qismini moylovchi va nasos ichki yuzalaridan korroziyani yo‘qotuvchi vazifasini ham o‘taydi. Plastinkali nasoslardan benzo-nasos sifatida, metall kesuvchi stanoklarda, aviasiyada ham foydalilaniladi.

## v) Vintli nasoslar

Vintli nasoslar suyuqlikni bir tekis tortish bilan farq qiladi. Ular yuqori FIK iga ega, ixcham, ishlatalish qulay, yuqori bosimda va katta aylanishlar sonida shovqinsiz ishlay oladi. Bunday nasoslar bir, ikki, uch va hokazo vintli bo'ladid.

Bir vintli nasoslar hajmiy nasoslarning hamma afzalliklari (yuqori bosimda uzatilayotgan suyuqlikning juda kam aralashishi va katta so'rish balandligi) ni mu-jassamlashtirganlar. Undan tashqari, plunjерli va porshenli nasoslardan harakatlana digan detallarning kamligi, klapanlarning va murakkab o'tish joylarining yo'qligi kabi afzalliklari bilan farq qiladi. Bir vintli nasoslarda tortish bir tekis bo'lgani uchun inersiya ta'siri bo'lmaydi, natijada so'rish yaxshilanadi. Bu nasoslar ixcham, engil, sodda tuzilgandir. Bir vintli nasoslar mamlakatimizda ko'mir shaxtalaridan ifloslangan suvlarni tortib olishda, havzalardan neftni so'rishda quduqlardan suv tortishda va achitqilarni tashishda ishlataladi.



2.38 - rasm. Sho'ktirma bir vintli nasoslarning sxemasi

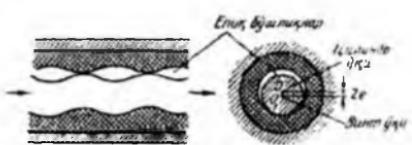
Bir vintli nasoslarning (2.38- rasm) ishlash prinsipi quyidagicha. Ichki tomoni vint shaklida profillangan silindrda vint aylanadi. Silindr o'ziga xos profilli bo'lgani va vintning aylanishi sababl suyuqlikning cheksiz harakati vujudga keladi. Silindrning ichki vintsimon

yuzasi va vint yuzasi orasida yopiq bo'shliqlar yoki hajm hosil bo'ldi. Bu bo'shliqlarning vaqt birligi ichidagi umumiy hajmiga mos ravishda nasosning sarfi oshadi. So'rish tomonidagi bo'shliq hajmi kattalashganda nasosning kirish qismida bosimlar ayirmasi hosil bo'ladi va bu bo'shliq suyuqlikka to'ladi. Qandaydir bir vaqtida suyuqlik yopiladi va silindrning haydash tomoniga harakatlana boradi. Har bir bo'shliq ma'lum hajmdagi suyuqlikni olib chiqadi. Vintning bir to'liq aylanishidagi suyuqlik silindr bo'yicha bir qadam uzunlikka siljiydi va o'zgarmas kesimdan to'kiladi. Yopiq (2.39- rasm) bo'shliqlarning siljishi natijasida bosim so'rish bosimi  $p_s$  dan haydash bosimi  $p_h$  gacha oshadi.

Eng ko'p tarqalgan vintli nasoslarga uch vintli nasoslar kiradi. Vintli nasoslarning asosiy ish organi-vintlardir: ular aylanma harakat qiladi. Ish vinti vazifasini faqat yetaklovchi vint bajaradi. Yetaklashuvchi vintlar uzatilayotgan suyuqlikning bosimi

ta'sirida aylanadi, shuning uchun foydalanish davrida vintlar tez ishdan chiqmaydi, yeyilmaydi va ishonchli bo'ladi. Yetaklovchi vintlar zichlagich rolini o'tab, uzatish

kamerasidan so'rish kamerasiga suyuqlikning qaytib tushishiga to'sqinlik qiladi. Yetaklovchi vintning ichki diametri va yetaklanuvchi vintning tashqi diametri o'zaroteng bo'ladi. Ushta vintning kesimlari ish

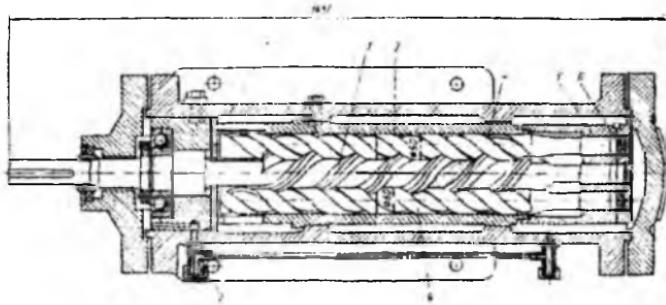


**2.39 - rasm. Silindr - vint jufti** vaqtida o'zaroteng tegishib cheksiz yuza bo'limi hosil qiladi va suyuqlikni so'rish kamerasidan uzatish kamerasiga so'rvuchni porshen rolini bajaradi. Bo'lim yuzasi vintning har bir qadamida takrorlanadi. Ish uzunligi qadamlar soni ko'paygan sari, bo'shliqlar soni oshib boradi. Vint qadami chegarasidagi har bir bo'shliq ko'p bosqichli nasoslardagi ayrim bosqich o'rnida bo'lib, vint uzunligi ko'payishi bilan yuqori hajmiy FIK li katta bosim hosil qiladi. Vintli nasos uchta asosiy qismdan iborat stator, nasos korpusi va yetaklovchi vint.

2.40-rasmida Leningrad metall zavodida yaratilgan MVN-10M markali vintli nasos ko'rsatilgan. Nasosning uchta: o'rtadagi yetaklovchi 3 va ikkita yetaklanuvchi 4 vinti bor. Vintlarning kesik joylari stator 2 ga podshipnikka o'xshatib mahkamlangan. Statomi rubashka (g'ilof) deb ham ataladi. Undagi vintlar uzunligini esa ish uzunligi deyiladi. Rubashka 2 oxiriga so'rish va haydash kameralari kelib birlashgan. Nasosda rubashka qopqog'i 6, bo'shatuvchi porshen 7, bo'shatuvchi stakanlar, podshipnik vtulkasi, salnik va quyish trubasi bor. Korpus 1 qopqoq 2 bilan yopiladi va asosga maxsus tiragishlar hamda flaneslar bilan mustahkamlanadi.

Yetaklovchi valning oxiri korpusdan chiqib turadi va mufta yordamida dvigatelga ulanadi. Uqiy bosimni muvozanatlash maqsadida nasos vintlarida yoki korpusda suyuqlik haydash kamerasi tomondan so'rish kamerasi orqasidagi vint tagiga oqib tu-shadigan ariqchalar yasaladi. Nasosni buzilishlardan saqlash uchun saqlagich klapanlar qo'yilgan. Vintli nasoslarning ishlash prinsipi quyidagicha. Yetaklovchi vint dvigateldan aylanma harakatga keltiriladi, bunda vintlarning ajratish tekisligi so'rish kamerasining chuqurchalarida joylashgan bir hajm suyuqlikni kesib ajratib oladi. Keyin suyuqlik vint bo'ylab haydash kamerasiga, undan haydash trubasiga qarab harakatlanadi. Shu paytda so'rish kamerasida, siyraklanish xosil bo'ladi, natijada

suyuqliq so‘rish trubasidan so‘rish kamerasiga tushib, vint chuhurchasini to‘ldiradi: bu jarayon cheksiz davom qiladi va nasos ishining uzluksizligini saqlaydi.

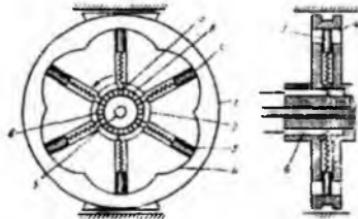


2.40 -rasm. Uch vintli nasoslar

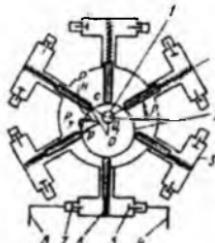
Suyuqlik kesim yuzasi tomonidan ajratib olinmasdan oldin bosim ostida harakatlanayotgan bo‘lsa, uning keyingi harakati vintlarning kesim yuzalarining bosimi ostida (porshenga o‘xshab) sodir bo‘ladi. Suyuqlik nasosga uzluksiz berilgani sababli bir tekis so‘rish ro‘y beradi. Vintli nasoslar  $4-7 \text{ kG/sm}^2$  dan  $200 \text{ kG/sm}^2$  gacha bosimlar uchun mo‘ljallanadi. Joiz so‘rish balandligi  $8-9 \text{ m}$  suv ustuniga teng. Vint ish uzunligidagi o‘ramlar soni odatda past bosimli nasoslar uchun  $z = 1,5h$ ; o‘rtalboismlar uchun  $z = 3h$  va yuqori bosimlar uchun  $z = 5h$  deb qabul qilingan (bunda  $h$  – vint qadami).

## 2) Radial-porshenli nasoslar

Bu nasoslar 2 gruppaga: a) silindrli radial joylashgan va b) aksial bo‘lgan gruppalarga bo‘linadi.



2.41. - rasm. Radial-porshenli nasos



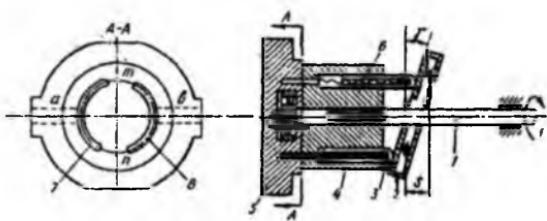
2.42. - rasm. Radial-plungerli nasoslar

Radial-porshenli nasos rotor, 2, doiraviy yo‘naltirgish 4 li stator 1 va porshenli 3 dan iborat (2.41-rasm). Rotor qo‘zg‘almas o‘q 5 atrofida aylanadi.

Porshenchalar ilgarilanma qaytma xarakat qilib, o'z silindrleridan chiqib prujina yordamida yo'naltiruvchi 4 ga tomon qattiq itariladi. Rasimdag'i shtrixlangan qism teshik 6 dan suyuqlik bilan to'ldiriladi, silindrning ish xajmi kichraygan paytda - teshikdan suyuqlik xaydab chiqariladi. Bu nasosning ikkinchi turi ekstsentrif-plunjerli nasos bo'lib, ularda aylanayotgan ekstsentrif yuzasiga porshenchalar shtoki tashqaridan tegib o'tadi. Bu nasosda plunjer ilgarilanma-qaytma harakatni ekstsentrif 2 dan oladi. U val 1 ga o'rnatilgan (2.42-rasm). Prujina 6 ta'sirida plunjer nasos vali tomoniga harakatlanayotgan paytda silindr 3 dagi bo'shliq plunjerdan ajralib, siyraklanish hosil qiladi. So'rish klapani 5 oshilib, so'rish trubasi 4 dan silindrga suyuqlik kiradi. Nasos tirsaklı vali 2 ning aylanishida ekstsentrif plunjer shtokiga ta'sir qilib, silindrda suyuqliknı bosadi va uni klapan 7 orqali bosim yo'li 8 ga siqib chiqariladi. Bitta ekstsentrif bir nechta ish silindriga xizmat qilishi mumkin, agar ular ekstsentrif atrofida joylashgan bo'lsa, valda bir nechta ekstsentrif joylashishi mumkin: bu holda ular teng sonli bir qator joylashtirilgan silindrlerga xizmat qiladi. Radial-porshenli nasoslar 200 at dan 1000 at gacha bosim hosil qila oladi; ularning unumi 800 l/min va quvvati 115 kVt ga etadi.

### Aksial-porshenli nasoslar

Aksial-porshenli nasoslarda porshenli silindrler aylanish o'qiga parallel joylashgan bo'ladi (2.43-rasm).



2.43 - rasm. Aksial-porshenli nasos

tegib turadi. Porshenchalar yuqorida prujina 6 bilan oldinga itariladi, pastda esa yotiqlik disk 2 ning ta'sirida orqaga qaytadi. Suyuqlik silindrlerda kanal *a* dan taqsimlanadi. Kanal *b* dan haydaladi. Porshenchalarning *n* hol dan *m* ga o'tishi, so'rishning *m* holatdan *n* ga o'tishi haydashni: bildiradi. Porshenning yo'li disk 2 ning gorizont bilan hosil qilgan burchagi  $\gamma$  bilan aniqlanadi. Odatda, silindrler bloki aylanadi, taqsimlash qurilmasi esa qo'zg'almasdir.  $\alpha \leq 0$  bo'lib, blok 4 aylanayotganda, yotiqlik shayba (disk) 2

Nasosda rotor rolini silindrlerdan iborat blok 4 o'taydi, uni val 1 yordamida aylantiriladi. Taqsimlash disk 5 va yotiqlik disk 2 nasos ishlagan paytda qimrlamasdan turadi. Porshenchalar 3 yotiqlik diskka

va shatun yoki prujina 6 yordamida porshenlar 3 silindr ichida ilgarilanma-qaytma harakatlanadi. Taqsimlash disk 5 dan uzoqlashgan porshenlar suyuqlikni so'radi, unga yaqinlashganda esa suyuqlikni haydaydi. Silindrler suyuqlikni keltirish va olib ketish silindrler bloki chetidagi teshiklar orqali bajariladi. Teshikchalar taqsimlagich 5 da joylashgan o'roqsimon taqsimlash tuynukchalar 7, 8 bilan ketma-ket ulanadi. Porshenlar chetki nuqtalarga yetganda silindr teshiklari 7 va 8 tuynukchalar orasiga to'g'ri kelib, so'rish va haydash yo'llarini bir-biridan ajratib qo'yadi. Silindrning haydash bo'shlig'i bilan tutashgan vaqtidagi qayta oqim zarba kuchining ta'sirini kamaytirish maqsadida tuynukchalar oxirida ensiz ariqchalar yasalgan bo'lib, ular silindrлarni haydash bo'shlig'i bilan asosiy tuynukchalar tutashguniga qadar bog'laydi. Natijada silindrdagi bosim haydash bo'shlig'i idagi bosimgacha bir tekis ko'tariladi.

### 2.35-§. Rotorli nasoslarning ish hajmi va sarfini aniqlash

Ish hajmi deb nasos o'ziga sig'dira oladigan suyuqlik hajmiga teng hajmga aytildi, ya'ni nasos bir aylanishda so'rgan suyuqlik hajmi ish hajmga tengdir. Nasosning sarfi esa aylanishlar soniga teng bo'lganda undan o'tgan suyuqlik hajmiga teng.

Shesternyali nasoslarning so'rishini (sarfini) shesternyadagi umumiy tishlarning hajmiga qarab aniqlash mumkin, chunki bitta tish hajmi ikkita tish orasidagi chuqurcha hajmiga, bir to'liq aylanishdagi so'rilgan suyuqlik hajmi esa tishlar orasidagi umumiy chuqurchalar hajmiga tengdir. Nasosning ish hajmi

$$q_n = \pi D_n 2mb \quad (18.1)$$

ga teng bo'lib, o'rtacha so'rishi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = 2\pi D_n 2mbn \quad (18.2)$$

Bu erda  $2m$  – tish balandligi ( $m$  – ilashish moduli);  $D_n$  - shesternya bosh aylanasining diametrini m);  $b$  – tish uzunligi (shesternya eni) - m;  $n$  – aylanishlar soni, ayl/min.

Chuqurchalarning hajmi tishlarning hajmidan salgina katta bo'lgani va  $m = \frac{D_n}{z}$  ( $z$  – tishlar soni) ga tengligi uchun nazariy so'rish kattaligi

$$Q_{hn} = 2\pi \frac{D_n}{z} bn \quad (18.3)$$

bo'ladi ( $h$ .  $n$  – hajmiy, nazariy). Shesternyali nasoslarning amaliy so'rishi

$$Q_h = n_h Q_{hn} = 2\pi \frac{D_n}{z} bn \eta_h, \quad (18.4)$$

bunda  $\eta_h$  – hajmiy FIK.

Shesternyali nasoslarning aylana tezligi 6-8 m/s dan oshmasligi kerak, aks holda tishlar orasidagi chuqurchaning tubida haddan tashqari siyraklanish hosil bo'lib, kavitasiya xodisasisiga olib keladi va nasosni ishdan chiqaradi.

Shesternyali nasoslar uchun quyidagi aylana tezliklar tavsiya qilinadi:

Suyuqlikning qovushoqligi, ${}^{\circ}\text{E}$ (Engler gradusida)	2	6	10	20	40	70	100
Tezlik, $\text{m}^2$	5,0	4,0	3,7	3,0	2,2	1,6	1,26

So'rish trubasida suyuqlikning oqish tezligi 1-2 m/s bo'lishi kerak. Suyuqlikning shesternyaga bo'lgan bosimi

$$P = (0,75 + 0,85)D_bp, \text{ kG} \quad (18.5)$$

bo'lib, bunda  $D$  – shesternya tishlarining tepasi xosil qilgan aylana diametri, sm;  $b$  – shesternyaning eni, sm;  $p$  – nasos xosil qilgan bosim,  $\text{kG/sm}^2$ .

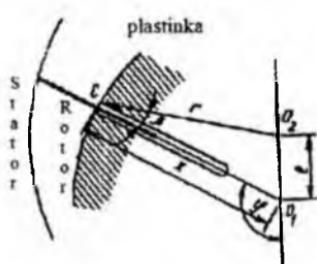
Shesternyali nasosning quvvati

$$N = \frac{Qp}{612\eta_h} \text{ yoki } N = \frac{Qp}{450} \text{ (ot kushi)} \quad (18.6)$$

formulalari bilan aniqlanadi.

Rotorli-plastinkali nasoslarning nazariy so'rishini aniqlash uchun nasos cheksiz ko'p juda yupqa plastinkalardan iborat deb qabul qilamiz. 2.37-rasmdagi plastinali nasos uchun hisoblash sxemasini chizish mumkin. Bu sxemadagi  $\Delta O_1O_2C$  uchburchagidan (2.44-rasm)

$$x = r \cos \beta + e \cos(180 - \varphi) = r \cos \beta - e \cos \varphi \quad (18.7)$$



Plastinkaning ish qismi

$$h = x - (r - e) \quad (18.8)$$

bo'lsa, (18.7) ni (18.8) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz:

2.44 - rasm. Plastinkali nasoslar uchun ish hajmini hisoblashga doir chizma

$$h = r \cos \beta - e \cos \varphi - (r - e) = e(1 - \cos \varphi) + r(\cos \beta - 1)$$

Rotorli plastinkali nasoslarda  $e/r$  qiymati juda kichkina, shuningdek,  $\beta \approx 0$  va  $\sin \beta \approx 0$  bo‘lgani uchun:

$$h = e(1 - \cos \varphi). \quad (18.9)$$

Rotor  $d\varphi$  burchakka aylanganda so‘rish bo‘shlig‘idan haydash bo‘shlig‘iga uzatilgan suyuqlik hajmi

$$dq_n = h b r d\varphi \quad (18.10)$$

bo‘ladi. Bunda  $b$  – rotoring eni;  $r$  – rotoring radiusi. (18.10) ni 0 bilan  $2\pi$  oralligida integrallab, rotoring ish va u hajmini orqali nisbiy nazariy so‘rishini hisoblash mumkin:

$$q_n = b \int_0^{2\pi} r h d\varphi = erb \int_0^{2\pi} (1 - \cos \varphi) d\varphi = 4\pi erb Q_{n,n} = q_n n = 4\pi erb n \quad (18.11)$$

Nasoslarning hajmiy FIK hisobga oladigan zishlanishlardan moy sirlashini, plastinkalar qalinligi  $\delta$  ni, ularning soni  $z$  ni ko‘zda tutib, rotorli-plastinkali nasoslarning o‘rtasha so‘rishi aniqlanadi:

$$Q_q = \eta Q_{n,n} = 2\eta_0 b e (2\pi r - z\delta) n \quad (18.12)$$

bu yerda  $Q_{n,n}$  – nisbiy, nazariy so‘rish.

Vintli nasoslarda ish hajmi

$$q_n = Sh \text{ ga teng} \quad (18.13)$$

bu yerda  $S$  – tashqi ko‘ylak (rubashka) va vintlar kesim yuzalarining ayirmasiga teng bo‘lgan chuqurchalar yuzasi;  $h$  – vint kesmasining qadami. Har xil profillar uchun yuzani quyidagicha hisoblanadi.

$$\left. \begin{array}{l} S = 1,25 d_r^2 \\ S = 1,24 d_r^2 \end{array} \right\} \quad (18.14)$$

Vint kesimining qadami esa:

$$h = \frac{10}{3} d_r \quad (18.15)$$

bunda  $d_r$  – etaklovshi vintning asosiy aylanasi diametri.

Yuqoridagilarni hisobga olib

$$q_n = Fh = 4,14 d_r^2 \quad (18.16)$$

ni topish va undan foydalanib vintli nasosning  $n$  aylanishiga mos nazariy so‘rishi  $Q_{n,n}$  ni aniqlash mumkin:

$$Q_{n,n} = q_n n = 4,14 d_T^2 \quad (18.17)$$

Agar vintlar va nasos korpusi orasidagi radial tirqishlardan suyuqlikning sirqib ketishini  $\eta_x$  hisobga olsa, vintli nasoslarning amalii so‘rishi

$$Q_h = \eta_x Q_{n,n} = 4,14 d_T^2 n \eta_x \quad (18.18)$$

ga teng bo‘ladi.

Radial-porshenli nasoslarda ish hajmi

$$q_n = z \frac{\pi D^2}{4} 2e \quad (18.19)$$

va so‘rish

$$Q_n = \eta_T 2e \frac{\pi D^2}{4} z \frac{n}{60} \quad (18.20)$$

formulalar bilan hisoblanadi.

bunda  $z$  – porshenlar soni;  $2e$  – porshen yuli ( $e$  – ekssentritet);  $\frac{\pi D^2}{4}$  – porshenning yuzi.

So‘rishning o‘zgarishi ekssentritet  $e$  ga bog‘liq bo‘lib, uning ishorasiga qarab suyuqlik yo‘nalishi (rotoring aylanish yo‘nalishi o‘zgarmaganda ham) o‘zgarib, xaydash teshigi so‘rish, so‘rish teshigi esa haydash teshigi bilan almashadi.

Agar  $e$  ni  $e_{max}$  bilan almashtirsak

$$q_n = z \frac{\pi D^2}{4} 2e_{max} \frac{e}{e_{max}} = q_{n,max} U_e \quad (18.21)$$

va

$$Q_n = q_{n,max} \frac{n}{60} \eta_{n,x} U_e \quad (18.22)$$

bo‘ladi. Bu yerda  $U_e = \frac{e}{e_{max}}$  boshqarish parametri (nisbiy ekstsentritet y 0 dan ±1 gacsha o‘zgaradi).

Ekstsentrifik plunjjerli nasoslarda valning bir to‘la aylanish vaqtida ish hajmi

$$q = 2eS \quad (18.23)$$

bo‘ladi; bu erda  $S$  – plunjerning ish yuzi,  $m^2$ .

Nasosning to‘liq so‘rishi:

$$Q = \eta_x \frac{S e n}{600}, m^3/s \quad (18.24)$$

bu yerda  $z$  – ish silindrleri soni;  $n$  – valning bir minutdagi aylanishlari soni;  $\eta_x = 0,75 \div 0,95$  – nasosning hajmiy FIK.

Aksial-porshenli nasosda maksimal ish hajmi

$$q_n = z \frac{\pi D^2}{4} 4 D' \operatorname{tg} \gamma = z \frac{\pi D^2}{4} \operatorname{tg} \gamma_{\max} \cdot \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma_{\max}} = q_{n, \max} U_r$$

va so‘rish miqdori quyidagicha

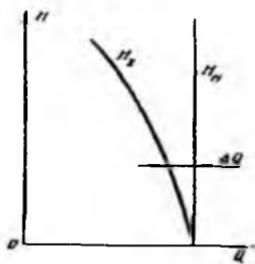
$$Q_n = q_{n, \max} \frac{n}{60} \eta_{n, r} U_r$$

bu yerda  $U_r = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \gamma_{\max}}$  boshqarish parametri;  $D$  – silindrler o‘qlari joylashgan aylana diametri;  $\gamma$  – yotiq diskning gorizont bilan hosil qilgan burchagi ( $\gamma_{\max} = 20^\circ$ ).

### 2.36-§. Hajmiy nasoslarning xarakteristikalari va nasosning tarmoqqa ishlashi

Hajmiy nasoslarning xarakteristikalari markazdan qoshma nasoslarnikidan butunlay farqlanadi. Buni ko‘z oldimizga keltirish uchun avval hajmiy nasoslarning bosim xarakteristikasi  $H=f(Q)$  na quramiz. Nasosning nazariy bosimi aylanish soni o‘zgarmas

( $n = \text{sonst}$ ) bo‘lganda 2.45-rasmida tasvirlangandek bosim o‘qiga parallel to‘g‘ri chiziq bilan ifodalanadi. Bunday bosim xarakteristikalari barcha hajmiy va rotorli nasoslarga ham tegishlidir. Bundan qat’i nazar bosim xarakteristikasiga ega bo‘lgan bu nasoslarda nazariy bosim cheksiz katta miqdorga intiladi.

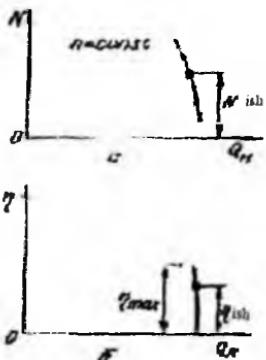


2.45 - rasm. Hajmiy nasoslarning  
bosimi xarakteristikasi

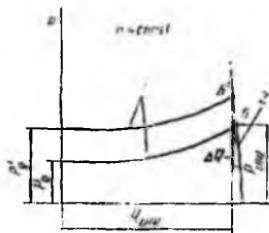
Nasosning haqiqiy so‘rishi sarfi bosimga bog‘liq bo‘lib, uning ortishi bilan turli hajmiy yo‘qotishlar ortib ketadi. Markazdan qoshma nasoslarda haydash trubasidagi berkitkichni so‘rish yo‘li bilan (bir xil aylanish sonini saqlagan holda) turli sarf va tegishli xarakteristikalarini olgan edik. Hajmiy nasoslarda esa berkitkichni yopib borgan sari uning oldidagi bosim ortib boradi, lekin sarf juda kam o‘zgaradi. Bu o‘zgarish ham bosimning ortishi natijasida suyuqlikning tirqishlardan sirqib ketishi hisobiga bo‘ladi. Bu esa o‘z navbatida bosimning juda oz miqdorga kamayishiga olib keladi Shunday qilib, hajmiy nasoslarning haqiqiy bosim xarakteristikasi  $H_x = f(Q)$  2.44-rasmida

tasvirlangandek, chapga biroz qiyalashgan bo'ladi. Hajmiy yo'qotishlar haqiqiy va nazariy sarflar farqidan iborat.

Rotorli nasoslar ishida porshenli nasoslarning bosim xarakteristikalari yana ham qattiqroq bo'ladi, chunki porshen va silindrlarni boshqa siqib chiqaruvchilarga nisbatan aniqroq ishlash mumkin va ularda tirkishlar kichikroq bo'lib, katta bosimlarda yuqori FIK hosil qilishga yordam beradi. Hajmiy nasoslarda quvvat xarakteristikasi (2.46-rasm, a) ham bosim xarakteristikasiga o'xhash bo'ladi, lekin quvvat grafigining egriligi bosimnikiga nisbatan kattaroq bo'ladi. Buni quvvatni aniqlash formulasidan ko'rish mumkin. Bu formuladan ma'lumki, quvvatning kamayishiga bosimning va so'rishning kamayishi bir xilda ta'sir qiladi. FIK xarakteristikasining qiyaligi quvvat va xarakteristikalariga nisbatan kamroqdir (2.46-rasm, b).



2.46 - rasm. Hajmiy nasoslarning quvvat va FIK xarakteristikalari



rasmdagi  $B$  nuqta tashqi bosim ko'paygan va gidrodvigatelga katta bosimli suyuqlik zarur bo'lган ( $p_d > p_a$ ) vaqtga mosdir. Bunda  $p_d$  dvigatel bosimi,  $p_a$  dvigatelnинг ko'paygan bosimi.

Ushbu rasmdan ko'rindiki, hajmiy nasoslarda kuch o'zgargani bilan so'rish deyarli o'zgarmay ( $\Delta Q=0$ ) markazdan qoshma nasoslarda esa farq ancha sezilarli bo'ladi. Shuning uchun hajmiy mashinalar qattiq xarakteristikali va kurakli mashinalar yumshoq xarakteristikali deyiladi.

## 2.37§. Rotorli nasoslarni boshqarish

Yuqorida, markazdan qoshma nasoslarda so'rishni boshqarishning bir nechta usullari qayd qilib o'tilgan edi. Hajmiy nasoslarning tuzilishi xilma-xil bo'lGANI uchun ularda boshqarish usullarini qo'llash qiyin. Hajmiy nasoslarda so'rishni boshqarishga u bilan bog'liq bo'lGAN  $q_n$ ,  $n_n$ ,  $\eta_m$  parametrlarni o'zgartirish yordamida erishiladi. Bu parametrlardan aylanishlar soni  $n_n$  ni hisobga olmasa ham bo'ladi, chunki nasoslarda, asosan, boshqarilmaydigan qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron elektr dvigatellar qo'llaniladi. Ular boshqariladigan elektrodvigatellarga nisbatan tejamli va tuzilishi jihatdan sodda bo'ladi. Amalda hajmiy FIK ning kam o'zgarishi sababli boshqarish faqat ish hajmini o'zgartirish bilan bajariladi. Ish hajmini o'zgartirishga nasos tuzilishiga konstruktiv tuzatish kiritib yoki konstruktiv tuzatishsiz bir nechta usul bilan erishiladi. Bu usullarga ekstsentritet  $e$  ni (plastinkali va radial-porshenli nasoslarda), shayba yoki silindrler blokining og'ish burchagi  $\gamma$  ni (aksial-porshenli nasoslarda), ish silindrleri sonini (ekstsentrifik, radial-porshenli va aksial-porshenli nasoslarda), tishlarning ilashish uzunligini (shesternyali nasoslarda) va hokazolarni o'zgartirish kiradi. Ularning har biri to'g'risida to'xtalib o'tamiz.

### a) Ekstsentritet $e$ ni va $\gamma$ ni so'rish yoki porshen yo'lini o'zgartirish.

Boshqariluvchi radial rotorli-porshenli nasos silindrler bloki 2, porshenlar 3, taqsimlash qurilmasi 5, yo'nalturuvchi silindr 4, ariqchalar  $a$ ,  $b$  va silindrni blok 2 o'qiga nisbatan  $e(l = 2I)$  kattalikka harakatlantiruvchi qurilmadan iborat (2.41-rasm). Taqsimlovchi vazifasini ishi bo'sh (g'ovak) va o'q bajarib, unga aylanuvchi silindrli blok joylashtirilgan. Aylanish paytida silindrler o'z ariqshalari bilan so'rish kanalida  $a$  va haydash kanali  $b$  ga navbatma-navbat ulanadi. Silindrler neytral holatdan o'tayotganda uning ariqchalari zichlagich bilan berkitiladi. Porshenning kallagi

silindrning ichki tomoniga markazdan qoshma kuchlar va yordamchi nasos uzatayotgan suyuqlik bosimi ta'sirida siqiladi. Agar ekssentritet  $e \leq 0$  (2.42-rasm) bo'lsa, porshenlar silindr bo'ylab yurib, silindrda ilgarilanma-qaytma harakat qiladi: bunda u aylanish markazidan qoshib so'rishni va markazga tomon yurib, haydashni bajaradi. Agar  $e > 0$  bo'lsa, radial sijish bo'lmaydi va nasos suv uzatishni to'xta tadi. Ekstsentritetning kattaligini va ishorasini o'zgartirib, so'rishni va suyuqlik oqimi yo'nalishini o'zgartirish mumkin. Bu nasosda ish hajmi va so'rishni 121.6-paragrafda keltirilgan formulalar yordamida hisoblanadi.

Aksial rotorli-porshenli nasoslar qiya shaybali yoki qiya silindrli blokidan iborat bo'ladi (2.43-rasm). Silindrlar bloki yoki shaybaning qiyalik burchagi γ ning maksimal qiymati  $\gamma_{max} = 20 \div 30^{\circ}$  ga teng, bundan oshib ketsa, mexanik yo'qotishlar ko'payadi va silindrlar yeyilishi tezlashadi. Agar kishik bo'lsa nasos to'xtaydi. Burchakni o'zgartirib, faqat so'rishni emas, balki nasosdagi suyuqlik yo'nalishini ham o'zgartirish mumkin.

$\gamma_{max}$  paytidagi ish hajmi va so'rish kattaligini 121-paragrafda keltirilgan formuladan ko'rish mumkin.

Plastinkali nasoslarda so'rishni boshqarish uchun ekstsentritetni o'zgartiriladi, bu plastinka yuradigan yo'lni o'zgartiradi va hajm o'zgarishiga olib keladi.

### b) Ish silindrleri sonini o'zgartirish.

Nasoslar ba'zan ko'p silindrli bo'ladi. Silindrlar soni 2 dan 5 gasha boradi. Ular bir tekislikda yoki aylana bo'ylab joylashgan bo'ladi. Nasoslarning ish hajmini o'zgartirish uchun mana shu silindrlardan bir nechtasini to'xtatish (agar kam sarf kerak bo'lsa) yoki hamma silindrarni ishga tushirish mumkin (agar katta sarf kerak bo'lsa). Plastinkali nasoslarda boshqarish (2.37-rasm) plastinalar sonini 4 dan 12 gasha o'zgartirib amalga oshiriladi.

### v) Tishlarning ilashish uzunligini o'zgartirish

Shesternyali nasoslarda (2.36-rasm) sarf yoki ish hajmi yetaklanuvchi va yetaklovchi shesternyalardagi tishlar soniga, ularning ilashish uzunligiga bog'liq. Tishlar qancha jips ishlasa, hajmiyo'qotishlar kam bo'ladi, FIK yuqori bo'ladi, lekin tez ishdan chiqadi. Sarfni kamaytirish zarur bo'lgan paytda tishlarning uzunligini qisqartirish mumkin. Buning uchun shesternyalar o'qlari orasidagi masofa uzaytiriladi. Yuqorida ko'rsatilgan usullar nasos tuzilishiga konstruktiv tuzatishlar kiritilmasdan amalga oshirish mumkin bo'lgan usullardir.

Bevosita nasos konstruksiyasini o'zgartirib, sarf boshqariladigan usul – porshen diametrini o'zgartirishdir.

## I. b o‘lim. GIDROUZATMALAR VA HAJMIY GIDROYURITMALAR

## XIX bob. UMUMIY TUSHUNCHALAR

## 3.1 §. Gidrodinamik uzatmalarning vazifasi va ishlatalish sohalari

Suyuqliklar ishtirokida bir mexanizmning ikkinchi mexanizmni harakatga keltilishiga asoslangan mexanizmlar *gidravlik uzatmalar* deyiladi, bunda suyuqlik uzatma mexanizmidagi kuch zanjirining bir halqasi hisoblanadi. Gidravlik uzatma bnr agregatda ikki xil parrakli mashinadan, ya’ni markazdan qoshma nasos va gidravlik turbinadan birgalikda foydalanuvchi qurilmadan iborat. Unda energiya elektr dvigatelidan gidrodvigatelga suyuqlik oqimi yordamida beriladi. Gidravlik uzatmalar katta energiya sig‘imiga ega bo‘lib, kinetik imkoniyatlari deyarlik cheklanmaganligi tufayli mashinasozlik texnikasining turli sohalarida keng qo’llanilmoqda.

Transport mashinalarida gidravlik uzatmalardan foydalanish yetaklovchi g‘ildiraklarning tezligini juda kamaytirish imkonini beradi, bu esa mashinalarning yo‘ldagi to‘silqardan o‘ta olishini va dvigatellarning barqaror ishlashini ta’minlaydi.

Gidravlik uzatmasi bo‘lmagan avtomobil dvigatellari, ko‘pincha, turgan joyidan qo‘zg‘alishda, tepaliklarga ko‘tarilishlarda, burilishlarda va boshqa hollarda o‘chib qoladi. Gidravlik uzatmali dvigatel bu kamshiliklardan holidir. Maxovik bilan dvigatel va kush zanjirining qolgan halqalari orasida bikr bog‘lanish yo‘qligi sababli, ular, shuningdek, dvigatelning o‘zi ham zarbaga uchramaydi. Gidravlik uzatmalar turgan joyidan siljishda va tezlikni o‘zgartirishda hosil bo‘ladigan keskin silkinishlarni kamaytiradi, bu esa mashinadan foydalanish davrini uzaytiradi. Gidravlik uzatmali avtomobil tepalikka ko‘tarilishda, pastlikka tushishda va burilishlarda kam tajribali haydovchining boshqarishiga ham imkon beradi.

Korpusda ish g‘ildiraklarining mumkin qadar yaqinlashtirilishi sababli qurilmalarda trubalar, spiral kameralar, diffuzorlarning zaruriyat bo‘lmay qoladi, demak, bu qismlardagi gidravlik qarshiliklarga bo‘ladigan sarf bartaraf qilinadi. Shuning uchun FIK faqat ish g‘ildiraklaridagi yo‘qotishlar hisobiga bo‘ladi va  $0,85 \div 0,98$  qiymatlarga etadi.

Teplovozlar, avtomobillar, traktorlarda, kuchli ventilyator va nasos uzatmalarida, kemashilikda va burg'ulash mashinalarida, er qazish va yo'l mashinalarida, aviasiyada gidravlik uzatmalardan foydalaniladi.

Hozir deyarlik hamma zamonaviy metall ishlash stanoklari gidrouzatmalar bilan ta'minlangan.

Gidrouzatmalardan foydalanib bajariladigan turli-tuman harakat va operasiyalarni tushunish uchun hajmiy gidrouzatmalar haqida tushunchaga ega bo'lish zarur, ular haqida keyinroq to'xtalamiz.

### **3.2-§. Ishlash prinsipi va guruhlanishi**

Ishlash prinsipiga qarab gidravlik uzatmalar hajmiy va gidrodinamik turlarga bo'linadi.

Hajmiy gidravlik uzatmalar hajmiy nasoslar yordamida ishlaydi. Bunday uzatmalarda energiya suyuqlik orqali yetaklovchi valdan statik bosim sifatida uzatilib, gidrovigatelni ishga tushiradi.

Hajmiy gidravlik uzatmalarda energiya yetaklovchi valga statik bosim ko'rinishida berilgani sababli uni, ko'pincha, hidrostatik uzatma ham deydilar.

Gidrodinamik uzatmalar parrakli gidromashinalar yordamida ishlaydi. Bu yerda ish g'ildiraklarining parraklari yordamida suyuqlikka berilgan dinamik bosim energiyasidan foydalaniladi. Bu uzatmalar ba'zan turbouzatma deb ataladi, bunga sabab ularda markazdan qoshma nasos va gidravlik turbinalardan birgalikda foydalaniladi.

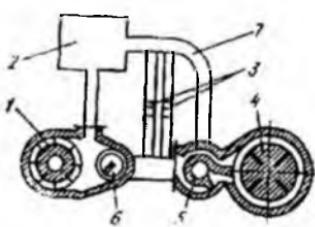
Gidrodinamik uzatmalar bir oqimli va ikki oqimli bo'lishi mumkin. Bir oqimli gidrodinamik hamma quvvat gidravlik g'ildiraklar orqali uzatiladi. Ikki oqimli gidrodinamik uzatmalarda esa dvigatel: bir qismi gidravlik gildiraklar orqali, ikkinchi qismi esa mexanik yul bilan uzatiladi.

Aylantirish momentining uzatilish usullariga qarab gidrodinamik uzatmalar ikkiga bo'linadi:

- 1) gidroilashgich yoki gidromuftalar;
- 2) hidrotransformatorlar yoki turbotransformatorlar.

Mashinalarda gidromuftalar va hidrotransformatorlar alohida va turli kombinasiyalarda, ya'ni gidromufta va hidrotransformator; gidromufta va ikkita yoki uchta hidrotransformator va hokazo tarzda ishlatilishi mumkin.

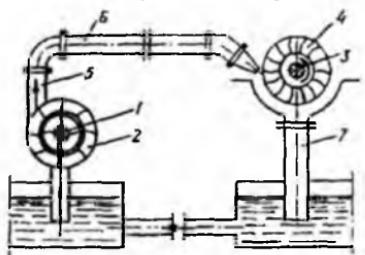
Xajmiy gidrouzatmaning ishlash prinsipini quyidagi oddiy sxemada tushuntiramiz (3.1-rasm). Uzatma rotasion nasos 1, sovitgich 2, teskari klapan 3, turbinalar 4, reversiv taqsimlagich 5 va taqsimlash klapani 6 dan iborat.



**3.1. – rasm. Hajmiy gidrouzatmaning ishlash prinsipi**

Suyuqlik nasos 1 dan taqsimlash klapani 6 va reversiv taqsimlagich 5 orqali turbina 4 ning kuragiga o'tadi. Undan keyin suyuqlik turbinadan truba 7 orqali sovitgich 2 ga keladi, bu yerda suyuqlik sovitiladi va yana rotasion nasosga yetkazib beriladi. Reversiv taqsimlagichning holatini o'zgartirish yo'li bilai operator suyuqliknki turbinalarning kuraklariga yuqorida yoki pastdan yo'naltirib mashinaning harakat yo'nalishini o'zgartiradi.

Hajmiy gidravlik uzatma nasosining seksiyalari soni bittadan to'rtgacha bo'lishi mumkin. Taqsimlash klapani yordamida gidravlik uzatmaning seksiyalarni ishga tushirish yoki to'xtatish yo'li bilan zarur bo'lgan uzatish nisbatiga erishamiz. Ya'ni tezlik nasosdan gidrovvigatelga kirayotgan suyuqlik miqdorini o'zgartirish hisobiga boshqariladi. Sistemada nasosda dvigatelgasha bo'lgan yo'lda (suyuqliknbing bir qismini) boshqa yo'nalishga burib yuboruvchi qurilmalar orqali ham gidrovvigatel



**3.2 - rasm. Gidrodinamik uzatmaning ishlash prinsipi.**

tezligini o'zgartirish mumkin. Hozirgi ko'pgina zamonaviy gidrouzatmalardagi ish qismlarida suyuqlik sarfi va harakat tezligi avtomatik ravishda boshqariladi.

Gidrodinamik uzatmaning ishlash prinsipini 3.2-rasmdagi sxema bo'yicha tushuntiramiz. Bu rasmda 1-nasosning yetaklovchi vali, 2-markazdan qochirma nasos, 3-boshqariluvchi turbina vali, 4-turbina,

5, 6, 7-trubalar. Nasos g'ildiraklarini aylantirish bilan suyuqlik oqimiga energiya beriladi. Qo'shimcha energiya olgan suyuqlik turbina g'ildiragiga o'tadi va olgan energiyasini turbinaga berib, ish suyuqligi nasosga qaytadi. Suyuqliknbing bunday berk harakati nasos va turbina g'ildiraklaridagi burovchi momentning uzatilishini ta'minlaydi.

### 3.3-§. Ish suyuqliklari

Gidromashinalarning vazifasiga qarab ish suyuqligi suv, neft moyi, sintetik suyuqliklar, spirit va giserin aralashmasi va hokazo bo‘lishi mumkin. Suyuqliknинг bosim yordamida uzatishga mo‘ljallangan nasoslar haydalayotgan suyuqlikning xususiyatlарини hisobga olib loyihalanadi. Tomshilanuvchi suyuqliklar bosimning turli qiymatlarida ham energiyani uzatish qobiliyatiga ega bo‘lgani sababli hajmiy gidrouzatmaning gidromashinalari har qanday tomshilanuvchi suyuqliklar bilan ham ishlashi mumkin. Lekin har qanday suyuqlik mavjud sharoitga muvofiq bo‘lavermaydi.

Gidrouzatmada ish suyuqligi oraliq muhit sifatida o‘zining asosiy vazifasini bajaradi va shu bilan birga moylovchi modda hamdir. Shu sababli unga turli qo‘sishimcha talablar qo‘yiladi. Suyuqlik oqayotganda uning tig‘izlagichlardan oqib ketishini kamaytirish uchun mustahkam moy qatlarni hosil qiluvchi suyuqliklar tanlab olingani ma’qul. Suyuqlikning ishqalanish qarshiligini kamaytirish ega qovushoqligi kam suyuqliklar tanlashni taqozo qiladi. Masalan, toza suvning qovushoqligi kam ximiyaviy barqaror, serob bo‘lgani bilan moylash va korroziyani kamaytirish xususiyatlарига ega emas. Hajmiy gidrouzatmalarda foydalanish talablarga to‘laroq javob bera oladigan suyuqliklar qovushoqligi kam bo‘lgan va yaxshi tozalangan neft moylaridir. Lekin ular ham talabga to‘liq javob bera olmaydi. Shuning uchun sintetik suyuqliklar va neft moylari ushun ularning xossalari yaxshilovshi qo‘silmalarining yangi turlari yaratilgan va yaratilmoqda. Shuningdek, ish suyuqliklarining xususiyatlари uzatmaning yaxshi va uzoq ishlashiga ta’sir qiladi, shuning uchun suyuqligini tanlashda uzatmaning xususiyatlаридан tashqari, suyuqlikning sifatini ham nazarda tutish kerak. Shunday qilib, ish suyuqliklariga quyidagi talablar qo‘yiladi:

1. Ish suyuqliklari tig‘izlagichlarda shunday mustahkam moy qatlami hosil qilishi kerakki, gidrouzatma yaxshi ishlasin. Aytib o‘tish kerakki, agar moy qatlaming mustahkamligi keragidan ortib ketsa, gidroapparaturalarning ishlashi yomonlashadi.

2. Mexanizmlardan uzoq foydalanish, ularning beto‘xtov va yuqori darajada aniqlik bilan ishlashini ta’minlash uchun ish suyuqligi korroziyani kamaytirish va ximiyaviy barqarorlik xususiyatlарига ega bo‘lishi zarur.

Mexanizmlar uzoq vaqt ishlatalganda ikkinchi talab alohida ahamiyatga ega bo‘ladi. Neft moylariga ba’zi moy yoki efirlar 0,5 – 1,0% qo‘silsa, korroziyaning ag-

ressivligini kamaytirish mumkin. Bu qo'shilmalar metall sirtida uning sirtini va moyni oksidlanishdan saqlaydigan himoya yupqa qatlami hosil qiladi.

3. Hajmiy uzatmadagi ish suyuqligining qovushoqligi nisbatan kam va temperatura ta'sirida oz o'zgaradigan bo'lishi kerak. Qovushoqlikka kam bo'lgan neft moylaridan foydalanish ishqalanish qarshiligidini kamaytiradi, apparaturaning aniqligini va sezgirligini oshiradi.

4. Mexanizmnning berilgan ishlash qobiliyatini ta'minlash uchun suyuqlik bir jinsli va yaxshi yuzalangan bo'lishi kerak.

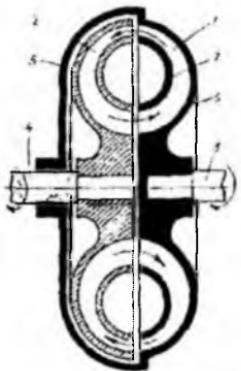
5. Ish suyuqliklari tig'izlash qistirmasining bo'kishiga va erishiga sabab bo'lmasligi kerak.

6. Hajmiy gidravlik mexanizmlardagi ish suyuqligi barqaror elastiklik moduliga va hajmiy og'irlilikka ega bo'lishi kerak. Shuning uchun moying ish vaqtidagi temperaturaning o'zgarish chegarasida gazlarni sing'dirishi va ajratishi mumkin qadar kam bo'lishi kerak. Katta bosimlarda elastiklik modulining barqaror bo'lishi alohida ahamiyatga ega.

7. Gidravlik mexanizmlarda paydo bo'ladigan bir qancha hodisalar havoning ish suyuqligida eruvchanligi bilan bog'liq. Ish suyuqligida havoning eruvchanligi: nasoslarning unumdorligining kamayishiga, gidrovvigatelning notejis ishlashiga va boshqalarga olib keladi. Gidrouzatmalarning barqaror ishlashini ta'minlash uchun ish suyuqligida erigan havo iloji borisha kam bo'lishi kerak. Ish suyuqliklarining oblitesasiyaga (bo'shliqlarni bekitib qo'yishga) layoqati boshqaruvchi qurilmalar (zolotniklar, drossellar va boshqalar)ning ishlashiga ma'lum darajada ta'sir qiladi. Yuqorida ko'rsatilgan talablarga javob bera oladigan neft moylarining xususiyatlari 9 va 10-jadvallarda berilgan. Gidrodinamik uzatmalarda suyuqlik sifatida: industrial 12, industrial 20, industrial 20 V, turbina moyi L va transformator moyi eng ko'p ishlatiladi. Odatda, suyuqlik gidrouzatmalarda aylanganda uning temperaturasi turli mashinalarda 60-135 S orasida bo'ladi.

## **XX b o b. Gidrodinamik mustalar**

Gidromuftada yetaklovchi valdag'i momentning miqdori har qanday o'zgartirilganda ham ikkala (yetaklovchi va yetaklanuvchi) valda momentlarning tengligi ta'minlanadi. Yo'naltiruvchi apparat yo'qligi gidromuftalar burovchi



momentini o'zgartirmaydi va har qanday uzatish nisbatlarida ham yetaklovchi va yetaklanuvchi vallardagi momentlar teng bo'ladi. Yetaklanuvchi val faqat yetaklovchi valning yo'nalishida aylanadi. Gidrodinamik mufta Germaniyada 1909-1910 yillarda professor Fittinger tomonidan kashf etilgan va birinchi marta kemalarda ikki valni elastik bog'lovchi sifatida ishlataligan. Hozir gidromuftalar 500 dan ortiq turdag'i mashina va mexanizmlarda bir agregatda  $0,5 \div 1$  kVt dan 35000 kVt gacha va undan ortiq quvvatni uzatishda ishlataladi.

**3.3 - rasm. Gidromufta** Gidromuftalar uzatish soni birga teng bo'lgan gidrouzatmalarda ishlataladi. Agar uzatish soni birdan farqli bo'lishi zarur bo'lsa, u holda har xil o'lchamli nasos va turbina qo'llaniladi. Turbina va nasoslarning o'lchamlari har xil bo'lgani sababli yo'naltiruvchi apparat qo'llash zarurati tug'iladi.

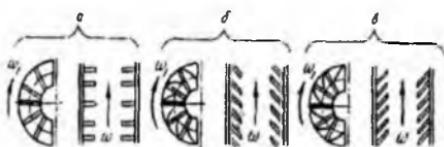
#### 3.4-§. Gidromuftaning tuzilishi va ishlashi

Gidrodinamik mufta yoki turbomufta (3.3-rasm) nasos g'ildiragi 1. turbina g'ildiragi 2. yetaklovchi val 5. yetaklanuvchi val 4. diafragmali bosqich 5. yarim korpus 6. yarim tor 7 lardan iborat.

Nasos va turbina g'ildiraklari shtamplangan yarim halqa shaklida tayyorlanadi. Bu g'ildiraklardagi kuraklar, ko'pincha, ishki sirtga radial joylashtirilgan bo'ladi. 4-rasmda radial kurakli (3.4-rasm, a), orqaga og'ishgan kurakli (3.4-rasm, b) va oldinga og'ishgan kurakli (3.4-rasm. v) gidromufta ish g'ildiragi tasvirlangan.

Tekshirishlar ko'rsatadiki, sirpanish  $s = 3\%$  bo'lganda oldinga og'ish burchagi  $45^\circ$  bo'lgan kurakli gidromuftalarning uzatgan momenti radial kurakli gidromuftalardagiga qaraganda 2 marta ortiq, orqaga og'ishgan kurakli gidromuftalarning uzatgan momenti esa radial kurakli gidromuftalarnikiga qaraganda 5% kam ekan. Odatda, gidromuftalar ishlagan vaqtida kuraklarning tebranishini yo'qotish uchun nasos g'ildiragidagi kuraklar soni turbina g'ildiragidagi kuraklar soniga teng bo'lmasligi kerak. Masalan, GAZ-12 avtomobilidagi gidromufta nasos g'ildiragida 48 ta kurak va turbina g'ildiragida 44 ta kurak o'rnatilgan. Gidromuftaning korpusi 2 ta shtamplangan qismidan iborat bo'lib, ular boltlar yordamida kavsharlab mahkamlanadi. Diafragmali

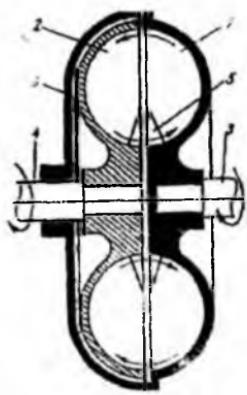
bosqich 5 yetaklanuvchi val 4 bilan turbina g'ildiragi 2 orasidagi tekislikka o'matiladi. Diafragmali bosqichning vazifasi burovchi momentni yetaklovchi valga uzatishni kamaytirishdir.



3.4-rasm. Gidromuftada ishlataladigan ish g'ildiraklari

Nasos va turbina g'ildiraklarida suyuqlik harakat qilganda uyurmali oqim gidravlik qarshilikni ko'paytiruvchi qaytargishga to'qnashadi va energiyaning bir qismi yo'olib, uzatilayotgan burovchi moment miqdori kamayadi. Avtomobillar ulangan uzatma va sal tishlayotgan dvigatel bilan to'xtab turganida, shuningdek, avtomobilning batamom to'xtashi hollarida burovchi moment kamaytirilishi zarur. Agar dvigatel orttirilgan aylanishlar sonida ishlasa (masalan, mashina harakatda bo'lganda), unda suyuqlik oqimi markazdan qoshma kuchlarning ta'sirida diafragmali bosqichdan tashqariga surilib, uni energiya yuqotishisiz oqib o'tadi.

Suyuqlik oqib chiqib ketishining oldini olish uchun gidromufta po'lat halqalardan va gofrilangan silindr dan iborat chetki tig'izlagishlar bilan ta'minlanadi. Nasos gildiragi va turbina g'ildiragi vallari o'zaro tutash bo'lib, ularning chekkalari orasida tirqish mavjud. Energiya nasos g'ildiragi validan turbina g'ildiragi valiga gidromuftaning ichki bo'shilig'ini to'ldiruvchi ish suyuqligini yordamida uzatiladi.



3.5 - rasm. Torsiz gidromufsta

Dvigateldan val orqali harakatga keltirilgan nasos g'ildiragi aylanayotganda ish suyuqligini kichik radiusda qabul qilib, katta radiusda chiqarib yuboriladi. Suyuqlik nasos g'ildiragidan o'tishda uyurma harakat oladi, natijada uning harakat miqdorining momenti ortadi. Ish suyuqligining uyurma harakatini ta'minlash uchun dvigatel momentining hammasi sarf qilinadi. Suyuqlik turbina g'ildiragidan o'tganda suyuqlik oqimi turbina g'ildiraklarining kuraklariga ta'sir etib va uning qarshiligidini engib, uning uyurma harakati so'nadi.

Shunday qilib, ish suyuqligi nasos g'ildiragidan olgan energiyasini turbina g'ildiraklariga beradi va u orqali mashinaning harakatlanuvchi qismlariga uzatiladi. Turbina g'ildiragidan suyuqlik yana nasos g'ildiragiga qaytadi. Gidromufta g'ildiraklar suyuqlikning uzlusiz aylanma harakatini uyurma aylanasi deydi. Gidromuftaning ichki halqasi g'ovak toroid shakliga ega bo'lgani uchun tor deb ataladi va metalldan yasaladi.

Hozirgi vaqtida yuqori ish ko'rsatgichli torsiz gidromuftalar ham mavjud (3.5-rasm), chunki tor FIK ni kamaytiradi.

### 3.5-§. Asosiy parametrlar va tenglamalar

Gidrodinamik muftalarning ishini xarakterlaydigan asosiy parametrlarga uning tashqi xarakteristikalariga kiruvchi va turbina g'ildiragi aylanishlari soni ( $n_2$ ) ga bog'liq bo'lgan burovchi momenti ( $M$ ) va FIK ( $\eta$ ) kiradi (bunda nasos g'ildiragi aylanishlari soni o'zgarmas).

Gidrodinamik uzatmalar (shu jumladan, gidromuftalar) ning nasos va turbina g'ildiraklaridagi oqimini hisoblash uchun Eyler tenglamasidan foydalilanildi (bu tenglama parrakli gidromashinalar qismida berilgan).

Nasos va turbina g'ildiraklarining (2.5-rasm) kuragi uzunligi  $L$  ning kuraklar orasidagi qadami  $t$  ga nisbati  $2 \div 5$  oraliqda bo'lganda nazariy hisoblash natiyalari gidromuftalar va gidrotransformatorlar bilan o'tkazilgan tajribalar bilan juda mos keladi (2.5-rasm).

Gidrodinamik uzatmaning ish g'ildiraklari kuraklar sistemasidan tashkil topgan aylanma panjaradan iborat bo'ladn. Gidromufta g'ildiraklarining kuraklari, ko'pincha, tekis radial shaklda, gidrotransformator g'ildiraklarning kuraklari esa fazoviy yoki aerodinamik silindr shaklida tayyorlanadi.

Ikki kurak orasidagi masofa panjara qadami deb ( $t$ ) ataladi va g'ildirak aylanasi uzunligi bilan quyidagicha o'chanadi:

$$t = \frac{\pi D^2}{z}$$

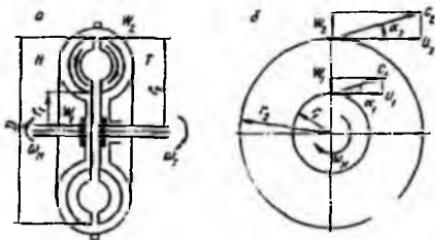
bu yerda  $D$  – nasos g'ildiragining tashqi diametri ( $D_1 = 2r_1$ );  $z$  – kuraklar soni.

Panjaraning zinchligi  $\tau$  kurak vatari uzunligining panjara qadamiga nisbatiga teng:

$$\tau = \frac{L}{t} = \frac{Lz}{\pi D^2}$$

Gidromufta g'ildiraklari uchun  $\tau = 2,5 \div 4,0$ ; gidrotransformator g'ildiraklari uchun  $\tau = 1,1 \div 1,7$ .

**Gidrodinamik mufta.** 3.6-rasmda gidromuftaning sxemasi nasos g'ildiragi va uning kirish hamda chiqishdagi tezlik parallelogrammlari bilan keltirilgan. Markazdan qoshirma nasosning ish g'ildiraklarida suyuqlik harakat qilganda suyuqlik zarrachalari tezligi ushta tashkil etuvchiga: nisbiy tezlik –  $w$ , aylana tezlik –  $u$  va absolyut tezlik –  $s$  ga ajraladi. Kirishda va chiqishda ular mos ravishda  $w_1, u_1, s_1$  va  $w_2, u_2, s_2$  ko'rinishida belgilanadi. Nasos g'ildiragining chiqishidagi kesimi turbina g'ildiragining kirishidagi kesimga va turbina g'ildiragining shiqishidagi kesimi nasos g'ildiragining kirishidagi kesimga teng bo'lgni uchun nasos g'ildiragi bilan turbina g'ildiraklaridagi suyuqlik aylanma harakatining nisbiy tezliklari teng, ya'ni markazda  $r_1$  va  $r_2$  radiusli masofalarda aylana tezlik



3.6 - rasm. Gidromuftaning nasos g'ildiragi, unga kirish va chiqishga tezlik parallelogrammlari bilan birligida sxemasi

momentlarining ayirmasiga teng:

$$M_n = \frac{\rho Q}{g} (c_{2n} r_2 \cos \alpha_2 - c_{1n} r_1 \cos \alpha_2). \quad (20.1)$$

bu erda  $\frac{\rho Q}{g}$  – nasos g'ildiragi kuraklaridan 1 sekundda oqib o'ta yotgan ish suyuqligining massasi;  $c_{1n}, c_{2n}$  – nasos g'ildiragiga kirish va chiqishdagi absolyut tezliklar. Suyuqlik harakatining nasos g'ildiragidan chiqishdagi absolyut tezligi  $c_{2m}$  turbina g'ildiragiga kirishdagi absolyut tezlik  $s_{2m}$  ga, turbina g'ildiragidan chiqishdagi absolyut tezlik  $s_{2m}$  nasos g'ildiragiga kirishdagi absolyut tezlik  $s_{1m}$  ga tengdir.

$u_1 = \omega_n r_1$  va  $u_2 = \omega_n r_2$  ga teng bo'ladi; bu yerda  $\omega_n$  – nasos g'ildiragi aylanishining burchak tezligi. Nasos g'ildiragi valining aylantiruvshi momenti suyuqlikning nasos g'ildiragiga kirish va chiqishdagi harakat miqdori

Bunda turbina validagi burovchi moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_m = \frac{\rho Q}{g} (c_{2m} r_2 \cos \alpha_2 - c_{1m} r_1 \cos \alpha_1). \quad (20.2)$$

Demak, nasos g'ildiragi valining aylantiruvchi momenti turbina g'ildiragining burovchi momentiga teng. Haqiqatan esa, ishqalanish kuchlariga energiyaning bir qismi sarf bo'lishi sababli turbina g'ildiragi validagi aylantiruvchi moment havoga ishqalanish va podshipnikdagi ishqalanishni bildiruvchi ventilyasion yo'qotish hisobiga nasos g'ildiragi validagi burovchi momentdan kichikdir. Ventilyasion yo'qotish moslangan sharoitda uzatiluvchi momentga qaraganda ancha kichik bo'lgani uchun  $M_n \approx M_m$  deb qabul qilingan. Dvigatelning nasos g'ildiragiga bergan quvvati (12.12) formulaga asosan quyidagiga teng:

$$N_n = \frac{\rho Q H}{75 \eta_n} \quad (20.3)$$

bu yerda  $Q$  – suyuqlik sarfi;  $\eta_n$  – gidromuftali nasos g'ildiragining FIK ( $0,924 \div 0,98$  ga teng).

Nasos gildiragidagi quvvat

$$N_g = N_n - N_{ven}, \quad (20.4)$$

bu yerda  $N_g$  – dvigatelning maksimal quvvati;  $N_{ven}$  – yordamchi mexanizmlarga sarflangan quvvat.

Odatda

$$N_{ven} = 0,1 N_g \quad (20.5)$$

deb qabul qilinadi.

Gidromuftalarni hisoblash uchun nasos g'ildiragi validagi quvvat  $N_n$  va dvigatelning aylanishlari soni  $n_n$  berilgan bo'lishi kerak. Gidromuftaning FIK quyidagiga teng:

$$\eta = \frac{N_n}{N_n} = \frac{M_m n_m}{M_n n_n}, \quad (20.6)$$

bu yerda  $N_n$  va  $N_m$  – nasos va turbina g'ildiraklarining quvvatlari;  $n_n$  va  $n_m$  – nasos va turbina g'ildiraklarining aylanishlari soni.

Lekin  $M_n = M_m$  bo'lgani uchun

$$\bar{i} = \eta = \frac{n_n}{n_m} \quad (20.7)$$

bu yerda  $i$  – uzatish soni.

Gidromufta  $n_n \neq n_m$  tengsizlik bajarilganda, ya’ni suyuqlik aylanma harakatda bo’lganida ishlaydi.  $n_n$  va  $n_m$  orasidagi farq qansha katta bo’lsa, gidromufta uzatadigan moment shuncha katta bo’ladi. Gidromufta nasos va turbina g’ildiraklari aylanishlari sonlari ayirmasining nasos g’ildiragi aylanish soniga nisbatli sirpanish koeffisienti deyliladi:

$$S = \frac{n_n - n_m}{n_n} \quad (20.8)$$

Odatda, gidromuftalar uchun  $S = 2 + 4\%$ . gidromuftalar va gidrotransformatorlar markazdan qoshma nasosga o’xshash tezyurarlik koeffisienti (14.14) ga va gidromufta nasosi g’ildiraklarning chiqishidagi va kirishidagi diametrлari nisbatiga qarab guruxlarga ajratiladi. Agar quvvat formulasi (20.3) dan  $Q$  ning qiymatini topib (20.7) ga qo’ysak, nasos g’ildiragining bosimi uchun quyidagi munosabatga ega bo’lamiz:

$$H = \left( \frac{1000 N_s n_s^2}{m_s} \eta_s \right)^{0.4} \quad (20.9)$$

bu yerda  $\eta_s$  – gidromuftali nasos FIK;  $\eta_s = 0,82 \div 0,98$ ;  $n_s$  - tezyurarlik koeffisienti

I.I. Kukolevskiy guruxlashi bo’yicha gidromuftalarda eng qulay tezyurarlik koeffisienti  $n_s = 50 \div 70$ , normal markazdan qoshma g’ildirakli gidrotransformatorlar uchun diametrлar nisbati  $\frac{D_2}{D_1} = 2$ , tezyurarlik koeffisienti  $n_s = 70 \div 120$ , tezyurar gidrotransformatorlar uchun diametrлar nisbati  $\frac{D_2}{D_1} = 1,2 \div 1,6$ ,  $n_s = 150 \div 350$  bo’ladi.

Suyuklikning nasos g’ildiragi orqali sarfi

$$Q = \frac{N_s 75}{\gamma H} \eta_s, \text{ m}^3/\text{s} \quad (20.10)$$

Nasos g’ildiragi valining diametri quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$d_n = 0,145 \sqrt{\frac{N_s}{n_s}}, \text{ m} \quad (20.11)$$

Nasos g’ildiragi vtulkasining diametri

$$d_v = (1,5 \div 2)d_n \quad (20.12)$$

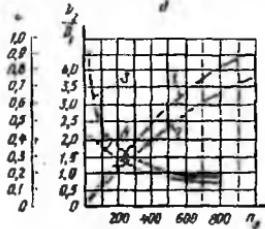
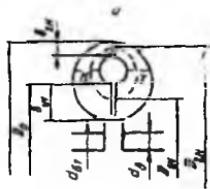
oraliqda olinadi.

3.7-rasm,  $a$  da gidromuftaning asosiy o’lchamlari ko’rsatilgan.

Nasos g'ildiragiga kirishdagagi tezlik yoki meridional tezlik quyidagicha aniqlanadi:

$$c_m = c_{in} = \alpha \sqrt{2gH}, \text{ m/s} \quad (2.13)$$

bu yerda  $\alpha$  – kirish tezligining koeffisienti, tezyurarlik koeffisienti ( $n_s$ ) ga bog'liq bo'lib, 3.7-rasm,  $b$  dagi grafikdan aniqlanadigan absolyut tezlikning radius yo'nalişidagi



3.7 - rasm. Kirish tezligi koeffisientining

tezyurarlik va ish g'ildiragi o'lchamlarga bog'liqligi

$s_{in}$  ni aylana tezlik orqali aniqlash ham mumkin:

$$c_m = c_{in} = (0,20 \div 0,25)u_{2n} \quad (2.14)$$

bu yerda  $u_{2n}$  – nasos g'ildiragidan chiqishdagi aylana tezlik.

Kuraklar soni cheksiz ko'p bo'lganda markazdan qoshma nasosning asosiy tenglamasi (13.5) dan foydalilanadi.

Gidromuftali nasos g'ildiragidan kuraklar to'g'ri radial, ya'ni  $\beta_{1n} = \beta_{2n} = 90^\circ$ . Bu holda nasos uchun  $s_{2n} s_{os\alpha_{2n}} = u_{2n}$  (chunki tezlik parallelogrami to'g'ri burchakli) (3.6-rasm, a, b). Bundan tashqari, suyuqlik nasos g'ildiragidan turbina g'ildiragiga g'ildiragini absolyut tezlik bilan kelishini nazarda tutsak, turbina gildiragini kuraklari ham radial ekanligini  $s_{m} s_{os\alpha_{2m}} = u_{2m}$ ;  $s_{lm} s_{os\alpha_{lm}} = u_{lm}$  xisobga olib, gidromuftalar uchun (13.5) tenglama quyidagi ko'rinishiga keladi:

$$H_m = \frac{1}{g} (u_{2n} \cos \alpha_{2n} - u_{in} c_{in} \cos \alpha_{in}) = \frac{1}{g} (u_{2n}^2 - u_{in}^2) \approx \frac{1}{g} (u_{2n}^2 - u_{in} u_{2m}). \quad (20.15)$$

O'rtacha oqim chizig'i uchun nasos g'ildiragiga kirishdagagi diametr  $D_{in}$  turbina g'ildiragini chiqishidagi diametri  $D_{2m}$  ga teng ekanligi nazarda tutilganda

$$\frac{u_{2m}}{u_{in}} = \frac{n_m}{n_{in}} = \eta_{g.m}, \quad (20.16)$$

ya'ni

$$u_{2m} = u_{in} \eta_{g.m} \quad (20.17)$$

(20.17) formuladan  $u_{2m}$  ning qiymatini (20.15) tenglamaga qo'syak:

$$H_{1n} = \frac{1}{g} (u_{2n}^2 - u_{1n}^2 \eta_{gn}), \quad (20.18)$$

Bundan ko'rinaridiki, chiqishdagi aylana tezlik quyidagiga teng:

$$u_{2n} = \sqrt{u_{1n}^2 \eta_{gn} + g H_{1n}}. \quad (20.19)$$

Nasos g'ildiragining haqiqiy bosimi  $H_n$  dan nazariy bosimi ( $H_{1n}$ ) ni aniqlaymiz:

$$H_{1n} = \frac{H_n}{\eta_{gn}}, \quad (20.20)$$

bu yerda  $\eta_{gn}$  – nasos g'ildiragining gidravlik FIK (0,92÷0,98). Nasos g'ildiragining diametrini suyuqlikning sarfi  $Q$  ushun yozilgan tenglamadan topiladi. Bu tenglamada suyuqlik sarfi  $Q$ , kirishdagi tezlik  $s_{1n}$ , vtulka diametri  $d_v$  va nasos g'ildiragining diametri qatnashadi:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_v^2) c_{1n} \quad (20.21)$$

bundan

$$D_0 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi c_{1n}}} + d_v^2. \quad (20.22)$$

Aylana tezlikdan nasos g'ildiragining chiqishdagi diametri aniqlanadi:

$$D_{2n} = \frac{u_{2n} 60}{\pi n_n} \quad (20.23)$$

Nasos g'ildiragining kirishdagi diametri:

$$D_{2n} = \frac{D_n + d_v}{2} \quad (20.24)$$

Nasos g'ildiragiga kirishdagi aylana tezlik:

$$u_{1n} = \frac{\pi D_{1n} n_n}{60} \quad (20.25)$$

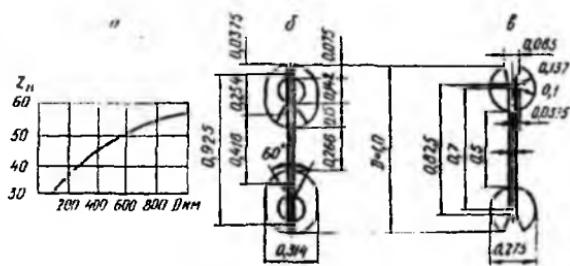
Nasos g'ildiragiga kirishdagi kanalning shartli eni:

$$v_{2n} = \frac{Q}{\pi D_{2n} c_{1n}}. \quad (20.26)$$

Gidromuftaning aktiv diametri

$$D = D_{2n} + v_{2n} \quad (20.27)$$

Nasos g'ildiragining kuraklari soni  $z_n$  aktiv diametr kattaligiga bog'liq ravishda 3.8-rasm,  $a$  dagi grafikdan topiladi. Odatda, kuraklar soni juft olinadi. Nasos g'ildiragiga qaraganda turbina g'ildiragida kuraklar soni 2 ta ko'p bo'ladi, agar g'ildiraklardagi kuraklar soni teng bo'lsa, rezonans hodisasi ro'y berishi mumkin. Uyurma aylanasining



3.8 - rasm. Nasos g'ildiraklar grafigi, torli va torsiz gidromuftalar kurakli o'lchamlari

qolgan o'lchamlari aktiv diametr ( $D$ ) ning nisbatlaridan aniqlanadi, torli gidromufta uchun ular 3.8-rasm; b da va torsiz gidromufta uchun 3.8- rasm, v da keltirilgan. Endi nasos g'ildiragining chiqishdagi o'lchami  $D_2$  ni aniqlab olinadi. Buning uchun  $H_{\infty}$  quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$H_{\infty} = \frac{H_n}{\eta_G} (1 + p_G) \quad (20.28)$$

bunda

$$p_G = \frac{3,6}{z_n \left[ 1 - \left( \frac{r_{1n}}{r_{2n}} \right)^2 \right]}$$

(20.28) formuladan  $H_{\infty}$  ning qiymatini (20.18) tenglamaga qo'yib, chiqishdagi aylana tezlikning aniqlashtirilgan qiymatini olamiz:

$$u_{2n} \sqrt{u_{1n}^2 \eta_{g,n} + gH_{\infty}} \quad (20.29)$$

Bundan keyin

$$D_{2n} = \frac{u_{2n} 60}{\pi u_{1n}}$$

ni aniqlashtiramiz. Nihoyat,

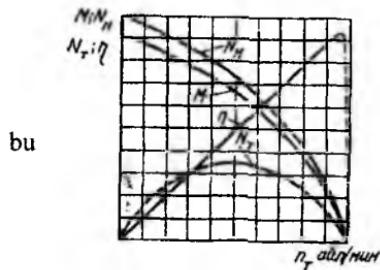
$$v_{2n} = \frac{Q}{\pi D_{2n} c_{1n}}$$

Shunday qilib, gidromufta o'lchamlarining yakuniy qiymati qabul qilinadi. Gidromuftada turbina g'ildiragi va nasos g'ildiragining o'lchamlari teng, shuning uchun turbina g'ildiraklarida kuraklar sonini hisoblab o'tirmay, nasos g'ildiraklari kuraklaridan ikkita ortiq ( $z_m = z_n + 2$ ) deb qabul qilinadi.

### 3.6-§. Gidromufta tashqi xarakteristikalarini

Gidromufta burovshi momenti ( $M$ ), quvvat ( $N$ ) va FIK ( $\eta$ ) ning, nasos g'ildiragi aylanishlar soni ( $n_m$ ) o'zgarmas bo'lganda, turbina g'ildiragi aylanishlar soni  $n_m$  ga bog'liqligi gidromuftaning tashqi xarakteristikalari deyiladi.

Tashqi xarakteristika tajriba natijalari asosida quriladi (3.9-rasm). Avval burovshi moment va FIK ni ifodalovshi grafik  $n_n = \text{const}$  ushun (shiziladi). Nasos g'ildiragining quvvat grafigi esa moment grafigidan faqat masshtab tasviri bilangina farqlanadi.



bu

3.9 - rasm. Gidromuftaning tashqi xarakteristikalarini

xarakteristikalarini ish suyuqligi bilan to'la yoki qisman to'ldirilgan hollar uchun quriladi. To'ldirilgan ish bo'shilg'ining kamayishi gidromufta uzatish momentining pasayishiga olib keladi.

Gidromufta to'la to'ldirilganda ish suyuqligining hajmi gidromufta geometrik hajm bo'shilg'ining taxminan 90% iga teng, chunki uning yaxshi ishlashi uchun erkin bo'shliq qoldirilishi kerak. Bu bo'shliq suyuqlikdan ajralib chiqqan bug' va havo bilan to'ladi. Geometrik hajmning 90% dan kam to'ldirilishi gidromuftaning qisman to'ldirilishi deyiladi.

Tashqi xarakteristika quyidagicha quriladi. Abstsissa o'qiga turbina g'ildiragining aylanishlari soni yoki turbina aylanishlarining nisbiy soni  $i = \frac{n_m}{n_n}$  ordinata o'qiga esa aylantiruvchi moment, FIK qiymati va quvvatning o'zgarishi joylashtiriladi. Yetaklovchi valning aylanishlari soni o'zgaruvchan ( $n_n = \text{const}$ ) bo'lgan hollarni gidromuftaning universal xarakteristikasi tasvirlaydi va u nasos aylanishlari soni har xil bo'lganda, turbina aylantiruvchi momentining u aylanishlar soniga bog'lanish qonunini ifodalaydi. Bundan tashqari, universal xarakteristika gidromufta aylantiruvchi momenti

grafigining, ya’ni ( $M_k = f_k(n_m, n_m)$ ) funksiyani, FIKning turli berilgan ( $\eta = 0,1; 0,2; 0,3$  va h.) qiymatlarida ifodalaydi. Universal xarakteristikani (3.10-rasm) qurish uchun avval nasos g’ildiragi aylanishlari sonining,  $\eta = 100, 90, 80, 70$  va hokazo o’zgarmas qiymatlarida tashqi xarakteristikasini qurish kerak.

Bu ish quyidagicha bajariladi. Gidromufta nasos g’ildiragining va turbina g’ildiragining aylanishlari soni  $n_{n1}, n_{m1}$  bo’lsa, shu aylanishlar sonida gidromufta burovchi momenti  $M_{k1}$  va FIK  $\eta_{g.m.1}$  bo’lsin. U holda o’xshashlik qonunlariga asosan ikkinchi aylanishlar soniga tegishli burovchi moment quyidagiga teng bo’ladi:

$$M_{k2} = M_{k1} \left( \frac{n_{n2}}{n_{n1}} \right)^2$$

Endi  $M_{k2}$  burovchi momentga mos keluvchi turbina aylanishlari soni  $n_{m2}$  ni topamiz  $n_{m1}$  va  $n_{n2}$  uchun FIK ning tengligidan,

$$\eta_{g.m.1} = \eta_{g.m.2}$$

Ma’lumki,

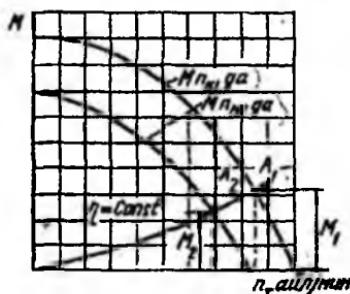
$$\eta_{g.m.1} = \frac{n_{m1}}{n_{n1}}; \quad \eta_{g.m.2} = \frac{n_{m2}}{n_{n2}}$$

Undan

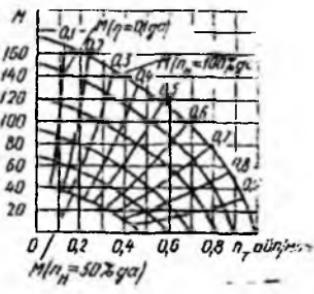
$$\frac{n_{m1}}{n_{n1}} = \frac{n_{m2}}{n_{n2}}$$

va nihoyat,

$$n_{m2} = \frac{n_{m1} n_{n2}}{n_{n1}}. \quad (20.30)$$

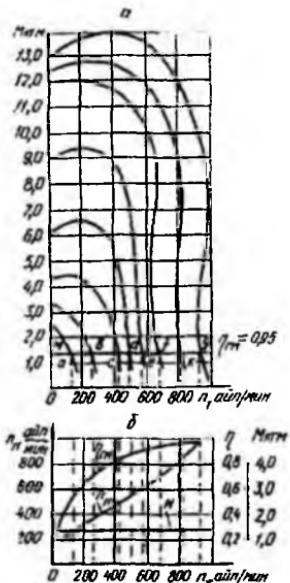


3.10 rasm. Universal xarakteristikani qurishga doir chizma



3.11 - rasm. Gidromuftaning universal xarakteristikasi

Aylanishlar soni  $n_{n1}$  va  $n_{n2}$  bo'lganda topilgan  $M_{k1}$  va  $M_{k2}$  momentlarini grafikda tasvirlab, mos ravishda  $A_1$  va  $A_2$  nuqtalarni topamiz. Bu nuqtalarni birlashtirib, grafikning ( $\eta$  ning berilgan qiymatida, 3.10-rasm) bir qismini hosil qilinadi. Bu ishni  $\eta$  ning boshqa qiymatlari uchun ham bajarib, 3.11-rasmda ko'rsatilgan universal xarakteristika tuziladi. Gidromuftaning universal xarakteristikasidan foydalanib tortish (tyaga) xarakteristikasini qurish mumkin (3.12-rasm). Burovchi momentning  $n_n = 900$ ; 800; 710; 600; 500; 400; 300; 200 aylanishlar soniga tegishli 8 ta grafigi berilgan. Universal xarakteristikada dvigatel momenti  $M$  ning grafigi quriladi (3.12-rasm, a). Agar dvigatel momenti nasos g'ildiragiga kchaytiruvchi mexanik uzatma orqali berilsa, unda momentning grafigi kuchaytirishning uzatish nisbatini hisobga olib quriladi. Dvigatel moment chiziqlari bilan gidromufta moment chiziqlarining kesishish nuqtalarini ( $a$ ,  $b$ ,  $s, d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $k$ ,  $g$ ) gidromufta tortish momenti xarakteristikasida tasvirlanadi (3.12- rasm, b). So'ngra  $n_n = f(n_m)$  funksiya grafigi chiziladi. Keyin nasos va turbina gildiraklarining aylanishlar sonidan foydalanib, gidromufta FIK  $\eta_{g.m} = \frac{n_m}{n_n}$  ni aniqlaymiz va tortish momenti xarakteristikasida  $\eta_{g.m} = f(i)$  funksiya grafigi quriladi.



3.12 - rasm. Universal xarakteristikadan

foydalanib tortish xarakteristikasini qurishga doir

Gidromufta boshqaruvchi val aylanishlari sonining kamayishi bilan yetaklovchi valga ancha katta burovchi moment bera oladi. Burovchi moment tenglamasi (20.2) dan ko'rindiki, nazariy hisoblashlarda turbina g'ildiragiga kirishdag'i  $s_{2m}$  tezlik nasos g'ildiragidan chiquvchi  $s_{2m}$  tezlikka teng, ya'ni  $s_{2m} = s_{2n}$ . Shuning uchun (20.2) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M_m = \frac{\rho Q}{g} (c_{2n} r_2 \cos \alpha_2 - c_{1m} r^1 \cos \alpha_1) \quad (20.31)$$

Gidromuftalarda kuraklar radial

o‘rnatilganligi uchun  $\beta = 90^\circ$ . Bu holda

$$c_{2n} = u_{2n}; \quad c_{1m} = u_{1m}$$

unda

$$\frac{u_{2m}}{u_{2n}} = i$$

bundan

$$n_{2m} = u_{2n}i \quad (20.32)$$

Yuqorida aytilganlarni nazarda tutib chiqarilgan ifodalarni (20.31) tenglamaga qo‘yib quyidagi olinadi:

$$M_m = \frac{\rho Q}{g} (u_{2n} r_2 \cos \alpha_2 - u_{2n} r_1 \cos \alpha_1). \quad (20.33)$$

Bu tenglamadan ko‘rinadiki, turbina aylanish momenti ikki holda (xarj  $Q$  ortganda va turbina aylanishlar soni  $i$  kamayganda) ortar ekan. Birinchi hol: turbina valining aylanishlar soni  $i$  pasaysa, gidromufta kanallaridagi tezlik ortadi, natijada  $Q$  ortadi, xarjning ortishi bilan esa gidromufta boshqariluvchi valga uzatilayotgan aylanish momenti ham ortadi (20.33).

Ikkichi hol: aylanishlar soni kamaysa, (20.33) tenglamadagi qavs ishidagi ikkinchi had kamayadi, natijada gidromufta uzatish moment ortadi. Agar aylanishlar soni nolga teng bo‘lsa, ya’ni turbina vali to‘xtasa, uzatish momenti maksimal qiymatga erishadi.

### 3.7-§. Gidromuftaning dvigatel bilan birgallikda ishlashi

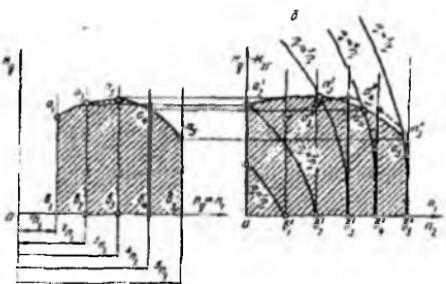
Ichki yonuv dvigateli va gidromufta birgalikda ishlaganda dvigatelning tirsakli vali nasos g‘ildiragi bilan blok qilib birlashtiriladi, shuning uchun

$$n_g = n_n$$

Dvigatel-gidromufta sistemasining xarakteristikalarini aniqlash uchun dvigatelning aylanishlari soni o‘zgartirib boriladi. Bunda aylanishlar sonining eng kichik miqdori dvigatel aylanishlar sonining eng kichik turg‘un qiymatiga teng va eng kattasi esa dvigatel aylanishlar sonining mumkin qadar eng kattasiga teng bo‘ladigan qilib o‘zgartiriladi. Dvigatelning tanlangan har bir aylanishlari soni uchun birdan boshlab nolgacha uzatish nisbatlarining qator qiymatlarini berib boriladi. Har bir uzatish nisbati uchun mos ravishda nasos g‘ildiragidagi moment hisoblab chiqiladi.

Agar uzatish nisbatlarining kattaliklari kamaytirilganda hisoblab chiqarilgan moment dvigatelning maksimal momentidan katta bo'lib chiqsa, u holda berilgan aylanishlar soni uchun hisoblash tugagan bo'ladi, chunki mufta bundan katta momentlarni uzatmaydi. Har bir uzatish nisbatlarining qiymatlari uchun turbina g'ildirak valining aylanishlari soni hisoblab chiqiladi. Odatda, natija jadval shaklida beriladi. Olingan natijadan foydalanib, dvigatelning aylanishlari  $n_g$  ning berilgan qiymatlari uchun  $M_n = f(n_m)$  funksiya, dvigatel momenti  $M_g$  grafiklarini tuzish mumkin (313- rasm). Bu grafiklar gidromuftaning tortish imkoniyatlarini ifodalaydi. Biroq ularning hammasi ham amalda qo'llanilavermaydi, chunki gidromufsta dvigateldan olish mumkin bo'lgan hamma momentlarni ham uzatavermaydi. Turbina g'ildiragining nasos g'ildiragiga nisbatan sirpanishi hisobiga  $n_m$  har doim  $n_n$  dan kichik. Shuning uchun  $n = \text{const}$  bo'lganda  $b_1a_1; b_2a_2; b_3a_3; b_4a_4; b_5a_5$  vertikal to'g'ri chiziqlar (3.13-rasm, a) mos ravishda  $b_1a_1; b_2a_2; b_3a_3; b_4a_4; b_5a_5$  (3.13- rasm, b) chiziqlarga o'tadi. Dvigatelning kichik aylanishlariga tegishli  $a_1$  va  $a_2$  nuqtalar grafikdan chapga chiqib ketadi;  $a_5, a_4, a_3, a_5, a_4, a_3$  nuqtalar dvigatel mos momentlarini ifodolovchi  $a_5, a_4, a_3$  nuqtalarni aylanishlarga gorizontal ko'chirish bilan hosil qilinadi. 3.13- rasm, b da egri chiziq bilan abstsissa o'qì orasidagi shtrixlangan soha dvigatelning normal ishlash sohasini bildiradi. 3.13-a va 3.13-b-rasm, b larni o'zaro solishtirish natijasida quyidagi xulosalarga kelishi mumkin: gidromufsta dvigatel ish sohasini kengaytiradi, turbina g'ildiragi to'xtatilganda ham dvigatel normal ishlaydi va xohlagansha kichik aylanishlarda turbina g'ildiragining ishlashi mumkin bo'ladi; harakat lanishida ( $n_m = 0$ ) turbina g'ildiragi validagi moment dvigatelning maksimal momentidan unsha farq qilmaydi. Dvigatel-gidromufsta sistemasining xarakteristikasini dvigatel xarakteristikasi bilan taqqoslash uchun 3.13-rasm, b da dvigatelning xarakteristikasidan foydalanamiz. Bunda  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  nuqtalar (3.13-rasm)  $b_1a_1; b_2a_2; b_3a_3; b_4a_4; b_5a_5$  vertikallarga ko'chirilgan bo'lib,  $a_5, a_4, a_3, a_2, a_1$  kesmalar  $M_n = f(n_m)$  egri chiziqlar va ularga tegishli vertikallar orasidagi gorizontal masofalarga teng va turbina g'ildiragining yo'qotgan aylanishlarini bildiradi. Bu aylanishlar sonini sirpanish aylanishlari deb ataladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$n_n = n_g - n_m \quad (20.34)$$



3.13 - rasm. Gidromuftaning dvigatel bilan birlgilikda ishlashiga doir uzatish nisbatga ega bo‘lamiz.

3.13- rasm, b dagi grafikning har bir nuqtasiga dvigatel-gidromufta sistemasining aniq bir rejimdagi ishi mos keladi. Shunday qilib, ordinatadagi kattalik turbina g‘ildiragi momentini, abstsissadagi kattalik esa uning aylanishlar sonini bildiradi. Turbina g‘ildiragi aylanishlar sonini dvigatel aylanishlar soniga bo‘lsak, FIK teng bo‘lgan

### 3.8-§. Gidromufta ishini rostlash

Gidromuftaning ishini rostlash uch usul bilan amalga oshiriladi: 1) yetaklovchi val aylanishlari sonini o‘zgartirish yo‘li bilan; 2) gidromufta oqar qismining shaklini o‘zgartirish yo‘li bilan 3) ish bo‘s hilig‘ini suyuqlik bilan to‘ldirish darajasini o‘zgartirish yo‘li bilan. Dvigatelning yetaklovchi vali aylanishlari sonini o‘zgartirish bilan rostlash usuli, asosan, transport va yuk ko‘tarish mashinalarida qo‘llaniladi. Bu usul bilan rostlash natijasida gidromufta valida unsha katta bo‘limgan qoldiq moment hosil bo‘ladi, bu esa transport mashinalari (avtomobillar, traktorlar) uchun katta ahamiyatga ega. Masalan, agar gidromufta validagi qoldiq moment harakatdagi avtomobil qarshiligidan kichik bo‘lsa, u holda haydovchi dvigateli o‘chirmay faqat aylanishlar sonini kamaytirish bilan mashinani to‘xtata oladi. Agar gidromuftada katta qoldiq momenti hosil bo‘lsa, u holda avtomobilni to‘xtatish uchun tormoz yoki ajratish qurilmasidan foydalanish kerak bo‘ladi.

To‘ldirish darajasi o‘zgarmas bo‘lganda gidromufta oqar qismining shaklini o‘zgartarish yo‘li bilan rostlash, shuningdek, texnik rostlash moment bo‘yisha rostlash darajasi kichikligi sababli amalda qo‘llanilmagan. Rostlash darajasi moment va tezlik bo‘yicha farqlanadi.

Moment bo‘yicha rostlash darajasi—yetaklovchi valning asosiy ish tartibidagi momentning turbina to‘xtatilganda o‘sha valning o‘zidagi minimal momentga nisbatli bilan o‘chanadi.

Tezlik bo'yicha rostlash darajasi yetaklovchi valning nominal aylanishlari sonining o'sha valning minimal aylanishlar soniga nisbati bilan o'chanadi.

Ish bo'shlig'ini suyuqlik bilan to'ldirish darajasini o'zgartirish yo'li bilan rostlash gidromuftani rostlashning eng keng tarqalgan usuli hisoblanadi. Uni ba'zan suyuqlik orqali rostlash ham deb ataydilar. Rostlashning bu usulini kengroq ko'rib chiqamiz. U uch xil tarzda bajarilishi mumkin:

1. gidromuftaga kirishda suyuqlik oqimini rostlash;
2. gidromuftadan chiqishda suyuqlik oqimini rostlash;
3. gidromuftaga kirish va chiqishda suyuqlik oqimini rostlash.

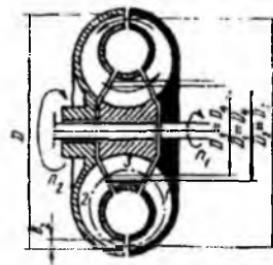
Suyuqlik orqali rostlashning har bir xili gidromuftaning ayrim-ayrim bo'g'inlarida bir neshtadan loyihaviy yechimlarga ega. Gidromufa ishini rostlash natijasida uni shunday epchil boshqarishga erishiladiki, gidromufa ikkilamchi valining aylanishlari sonini tez o'zgartirish va gidromufa bir tartibdan ikkinchi tartibga minimal vaqtida o'tishi mumkin bo'ladi hamda gidromuftaning turli tartiblardagi ishi barqaror bo'ladi. Agar biz gidromufa ich bo'shlig'ini suyuqlik bilan turli darajada to'ldirsak, bu bilan yetaklovchi valning aylanishlari sonini o'zgartirgan bo'lamiz (20.33-tenglamaga qarang). Lekin gidromufa ichida beqaror zonalar borligi uchun ko'pincha uni rostlash darajasi etarli bo'lmasligi mumkin. Masalan, suyuqlik oqimi bilan rostlashda gidromuftaga kirishidagi tartibni almashtirish uchun 2-3 minut vaqt ketadi. Bu katta kamchilik hisoblanadi. Hozir eng qulay hisoblangan gidromufa qo'shimcha hajmli va bosqichli gidromuftalaridir. Bularda oqim shaklning keskin o'zgarish hollari bo'lmaydi.

## XXI bob. GIDRODINAMIK TRANSFORMATORLAR

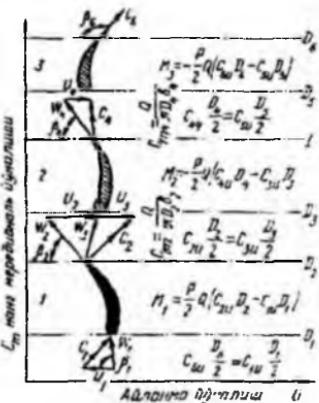
### 3.9-§. Gidrotransformatorning vazifalari, guruhlanishi, tuzilishi va ishlash jarayoni

Burovchi momentni va yetaklanuvchi valning aylanishlari sonini yetaklovchi val aylanishlari soniga nisbatan o'zgartirish yo'li bilan quvvatni yetaklovchi valdan yetaklanuvchi valga uzatuvchi energetik mashina burovchi moment gidrotransformatori deb ataladi. Yetaklovchi va yetaklanuvchi vallari bir tomonqa aylanuvchi gidrotransformatorlar to'g'ri yo'lli, qarama-qarshi tomonqa aylanuvchilar esa teskari yo'lli gidrotransformatorlar deyiladi.

Gidrotransformatorning korpusi reaktor kuraklarida hosil bo'ladigan va korpus bilan bog'liq bo'lgan reaktiv momentni qabul qiluvchici tashqi tayanchga ega. Bunday transformatorlar bir bosqichli nasos bir, ikki va uch bosqichli turbina bilan hamda bir yoki bir neshta reaktor, uch, to'rt va ko'p bosqichli turbina bilan birga ishlaydigan qilib qurilishi mumkin. Bularning eng soddasи uch g'ildirakli gidrotransformatordir (3.14-rasm). Bu gidrotransformatorda dvigatel yordamida harakatga keltiriladigan va anchagini kichik burchak tezlik bilan aylanadigan nasos g'ildiragi ish suyuqligini turbina 2 ga yo'naltiradi.



3.14 - rasm. Gidrotransformator



Energiyasini turbinaga bergen suyuqlik qo'zg'almas kurakli reaktor Z orqali nasosga qaytadi. Reaktoring qo'zg'almas kuraklari nasos va turbina orasidagi suyuqlikning harakat miqdori momentini o'zgartiradi. Natijada turbinaning aylanish momenti va burchak tezligi mos ravishda o'zgaradi.

Gidrotransformator ish bo'shilg'ida reaktoring mavjudligi tufayli turbinaning burchak tezligi uning valiga yuklangan moment kattaligiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Shunday qilib,

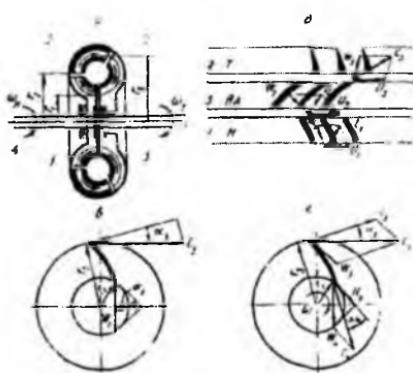
gidrotransformatorda nasos hosil qilgan suyuqlik oqimi turbina va reaktor kuraklaridan ketma-ket o'ta borib, turbinani o'zgaruvchan burovchi moment yordamida nasos bilan bir tomoniga aylantiradi.

Gidrotransformatorning ishini nasos g'ildiragining aylanishlari o'zgarmas bo'l-ganda uyurma aylanasiagi suyuqlik sarfi o'zgarmas deb faraz qilib ko'rib chiqamiz. Haqiqatda esa, sarf uzatish nisbatining kichrayishi bilan oz bo'lsa ham o'sib boradi. Biroq, sarfning bu o'zgarishi gidrotransformator ishiga uncha ta'sir ko'rsatmaydi.

Sarf o'zgarmas bo'l-ganda reaktor kuraklari qo'zg'almas bo'l-gani sababli nasos g'ildiragiga kelayotgan oqimning kattaligi va yo'naliishi o'zgarmaydi. Shuning uchun turbina g'ildiragi ish'tartibining o'zgarishi bilan nasos g'ildiragiga kirishdagi tezlik uchburchagi o'zgarmay qoladi. Bu sharoitda  $Q = \text{const}$  va  $n_m = \text{const}$  nasos g'ildiragidan chiqishdagi tezlik uchburchagi ham o'zgarmay qoladi. Shuning uchun turbina g'ildiragining hamma tarkiblarida nasos g'ildiragidagi moment o'zgarmasdir.

### 3.10-§. Asosiy parametrlar, tenglamalar va ularning mohiyati

$M_n, M_{n_0}, \eta, n_n, n_m$  kattaliklar va transformasiya koeffisienti  $K$  hidrodinamik transformatorning ishini xarakterlaydigan asosiy parametrlardir.



3.15 - rasm. Gidrotransformatorning kengaytirilgan sxemasi

apparat; 4 –  $\omega_n$  burchak tezlik bilan aylanadigan nasos g'ildiragining vali 5 –  $\omega_m$  burchak tezlik bilan aylanadigan turbina g'ildiragining vali.

Yo'naltiruvchi apparat hidrotransformatorga qo'zg'almaydigan qilib mahkamlangan va undan chiqadigan  $c_2$  tezlik kurak bo'ylab yo'naltirilgan (3.15- rasm, a, v, b).

3.15-rasm, b da kuraklarning joylashish sxemasi va nasos g'ildiragi  $I(H)$  yo'naltiruvchi apparat 3(YA) va turbina g'ildiragi 2(T) dagi tezliklar parallelogrami berilgan.

Nasos g'ildiragidagi moment  $M_n$  turbina g'ildiragidagi  $M_m$  va yo'naltiruvchi apparat g'ildiragidagi  $M_{YA}$  dagi momentlarning ayirmasiga teng. Turbina g'ildiragidagi moment esa nasos g'ildiragi va yo'naltiruvchi apparat momentlarining yig'indisiga teng:

$$\begin{aligned} M_n &= M_m - M_{YA} \\ M_m &= M_n + M_{YA} \end{aligned} \quad (21.1)$$

(21.1) tenglama gidrotransformator g'ildiraklari aylanishining gidravlik momentlar muvozanatini ifodalaydi. Nasos g'ildiragidagi moment gidromuftadagi kabi quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_n = \frac{\rho Q}{g} (c_2 r_2 \cos \alpha_2 - c_1 r_1 \cos \alpha_1), \quad (21.2)$$

3.15-rasm, v, g larda turbina g'ildiragidagi suyuqlik zarrachalarining harakat tezligi ko'rsatilgan. Turbina g'ildiragidagi moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_m = \frac{\rho Q}{g} (c_3 r_3 \cos \alpha_3 - c_1 r_1 \cos \alpha_1). \quad (21.3)$$

Shuningdek, yo'naltiruvchi apparat momenti quyidagiga teng:

$$M_{YA} = \frac{\rho Q}{g} (c_3 r_3 \cos \alpha_3 - c_2 r_2 \cos \alpha_2) \quad (21.4)$$

Yo'naltiruvchi apparatning tegishli ish sharoitida, turbina validagi moment nasos validagi momentdan katta bo'ladi.

Burovchi momentni ko'proq uzatish uchun gidrotransformator turbinesidagi kuraklar kaltaroq, juda egilgan va katta diametr aylanasida joylashtirilgan bo'lishi kerak. Turbina g'ildiragi kuraklarini shunday egish mumkinki, unda  $c_4 \cos \alpha_4$  vektor ga teskari tomonga yo'nalgan bo'ladi. Shunga o'xshash hodisa nasos g'ildiragida ham bo'ladi. Turbina vali momentining nasos vali momentiga nisbatli hidrotransformatorning transformasiya koeffisienti deyiladi va quyidagicha yoziladi:

$$K = \frac{M_m}{M_n}$$

Gidrotransformatorning transformasiya koeffisienti  $w_n = \text{const}$  bo'lganda  $w_m$  ning o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Gidrotransformatorning turiga qarab transformasiya koeffisienti  $2 \div 6,5$  orasida bo'ladi.

Gidrotransformatorning foydali ish koeffisienti quyidagicha hisoblanadi:

$$\eta = \frac{N_m}{N_n} = \frac{M_m n_m}{M_n n_n} = \frac{K}{i} \quad (21.5)$$

bunda  $i$  – uzatish soni  $\left( i = \frac{n_a}{n_n} \right)$ ;  $N_n$  va  $N_m$  – mos ravishda nasos va turbina g'ildiraklarining quvvati.

Gidrotransformatorning asosiy o'lchamlari gidromufta uchun berilgan (3.5-§) formulalar bilan aniqlanadi, shuning uchun ularga to'xtalmaymiz.

### 3.11-§. Gidrotransformatorda energiyaning yo'qotilishi

Gidrotransformatori hisoblash tenglamalari aylanishlar soni  $n_n$  ning anchagini miqdorga o'zgarishida ham o'rini bo'lishiga qaramasdan,  $i$  ning o'zgarmas qiymatida  $n_n$  ning kamayishi FIK ning kamayishiga sabab bo'ladi. Bu mexanik yo'qotishning hissasi ortishiga bog'liq. Ishqalanish momenti aylanishlarga ham bog'liq, lekin momentning gidravlik yo'qotish hisobiga kamayishi aylanishlar sonining kvadratiga proporsional. Shuning uchun katta aylanishlarda mexanik yo'qotishning umumiy yo'qotish balansiga ta'siri katta emas. Kichik aylanishlarda esa mexanik yo'qotish momentining nisbiy kattaigi so'zsiz ortadi.

Aylanishlar soni  $n_n$  ko'p ortganda ba'zan, kavitaliya hodisasi paydo bo'lishi sababli FIK kichiklashib ketishi mumkin.

Gidrotransformatorlarning ba'zi turlarida yo'qotishlarning o'rtacha kattaligi quyidagicha bo'ladi.

Gidravlik va ventilyasion yo'qotishlar:

nasos g'ildiragida 3,5-4,5%;

turbina g'ildiragida-2,5-3,5%;

hajmiy yo'qotish-2,5-3,5%;

qolgan ko'rinishdagi yo'qotishlar-2,5-3,5%;

to'liq yo'qotish-11,0-15,0%.

Gidrotransformator optimal ishlaganda yo'qotilgan energiyani quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

$$h_{opt} = \xi_{opt} \frac{W_{opt}^2}{2g}. \quad (21.6)$$

bu yerda  $h_{opt}$  – optimal ish tartibida yo‘qotilgan bosim;  $\xi_{opt}$  – gidrotransformatorning optimal ish tartibida yo‘qotish koefisienti;  $w_{opt}$  – optimal tartibdagi hisoblangan nisbiy tezlik.

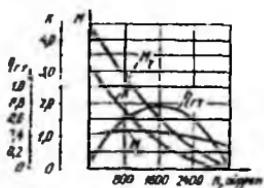
Optimaldan farqli ish tartibida ortiqcha yo‘qotilgan bosim suyuqlikning bir nasosdan boshqasiga o‘tishida oqim yo‘nalishi bilan kirishdagi kurak qirralarining mos kelmasligi natijasida paydo bo‘ladi. U quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$h_{zar} = \xi_{zar} \frac{w_n^2}{2g} \quad (21.7)$$

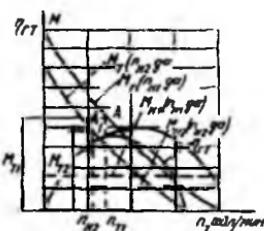
bu yerda  $h_{zar}$  – oqimning optimaldan chetga chiqishi natijasida zARBAGA yo‘qotilgan sarf;  $\xi_{zar}$  – gidrotransformatorda zARBAGA yo‘qotish koefisienti;  $w_n$  – oqim nisbiy tezliklari geometrik farqining proyeksiyasи.

### 3.12-§. Turli gidrotransformatorlarning tashqi xarakteristikalari

Gidrotransformatorning tashqi xarakteristikasi 3.16-rasmda, universal xarakteristikasi 3.17-rasmda keltirilgan. Gidrotransformatorning tashqi xarakteristikasi, nasos g‘ildiragining nominal aylanishlari soni o‘zgarmas bo‘lganda, nasos va turbina g‘ildiraklari burovchi momentlari va FIK ning turbina g‘ildiragi aylanishlari soniga bog‘liqlik grafiklaridan iborat.



3.16 - rasm Gidrotransformatorning  
tashqi xarakteristikasi



3.17 - rasm. Gidrotransformatorning  
universal xarakteristikasi

Tashqi xarakteristikani ba’zan transformatsiya koefisienti bilan to‘ldiriladi:

$$K = \frac{M_m}{M_n} = f(i) \quad (21.8)$$

Gidrotransformatorning tashqi xarakteristikasini qurish uchun ishonchli qiymatlarni faqat gidrotransformatorni sinash yo‘li bilan olish mumkin Xarakteristikadan ko‘-

rinadiki, gidrotransformator dvigateleining o'zgarmas yuklanishini ( $M_n$  grafigi gorizontal chiziqdan iborat) va moment ( $M_m$  chizig'i) ning avtomatik ortishini ta'minlaydi. Bu ish organida zo'riqishni oshirish (aylanish soni  $n_m$  ni mos ravishda pasaytirish) vaqtida bo'ladi:

Odatda,

$$K = \frac{M_{m_{\max}}}{M_n} < 6$$

bu yerda  $M_m$  – turbina g'ildiragidagi (yetaklanuvchi valdag'i) burovchi moment;  $M_n$  – nasos g'ildiragidagi (yetaklovchi valsagi) burovchi momenti. Yetaklovchi valda aylanish tezligining kamayishi bilan momentning ortishi aylanish yo'qligida turbina kustraklari oqimga eng qulay joylashuvi va bunda burovchi momentning eng kattaligi bilan tushuntiriladi.

Nasos momentining uzatish soni  $i$  ortishi bilan o'zgarishi xarakteristikaning „shaffofligi“ deyiladi. Agar  $i$  ortishi bilan u ortsa, xarakteristika „shaffof“, aksincha kamaysa, xarakteristika „shaffof emas“ deyiladi. Eslatib o'tish kerakki, gidromuftaning maksimal FIK 0,98 ga etganda gidrotransformatorning maksimal FIK 0,85 ga teng bo'ladi.

Gidrotransformatorning universal xarakteristikasi ikki xil ko'rinishda bo'lishi mumkin. Universal xarakteristikaning birinchi ko'rinishida nasos g'ildiragi aylanishlari sonining bir qancha o'zgarmas qiymatlariga to'g'ri kelgan tashqi xarakteristikalar bitta grafikda joylashtirilgan bo'ladi.

Universal xarakteristikadan ko'rindiki, turbina g'ildiraklari momentlari nisbati nasos g'ildiragi aylanishlari soni kvadratlariga proporsional bo'ladi:

$$\frac{M_{m2}}{M_{m1}} = \frac{n_{n2}^2}{n_{n1}^2} \text{ yoki } M_{m2} = M_{m1} \left( \frac{n_{n2}}{n_{n1}} \right)^2, \quad (21.9)$$

Turbina g'ildiragi aylanishlari sonini FIK tengligidan topish mumkin

$$\eta_{g,t,1} = \eta_{g,t,2}$$

ya'ni

$$\eta_{g,t,1} = \frac{M_{m1} n_{n1}}{M_{n1} n_{n1}}, \quad \eta_{g,t,2} = \frac{M_{m2} n_{n2}}{M_{n2} n_{n2}}$$

bundan

$$\frac{M_{m1}n_{m1}}{M_{n1}n_{n1}} = \frac{M_{m2}n_{m2}}{M_{n2}n_{n2}}, \quad (21.10)$$

$M_{m1}$  ning  $n_{m1}$  ga tegishli va  $M_{n2}$  ning  $n_{n2}$  ga tegishli qiymatlarini (21.10) tenglamaga qo'syak, quyidagini olamiz:

$$n_{m2} = n_{m1} \frac{n_{n2}}{n_{n1}}, \quad (21.11)$$

Topilgan  $n_{m2}$  dan  $M_{m2}$  momentni topamiz va xarakteristika grafigiga joylashtiramiz (3.17-rasmdagi  $A_1$  nuqta). Agar turbina g'ildiragining aylanishlari soni  $n_{n1}$  bo'lganda nasos g'ildiragining burovchi momenti  $M_{n1}$  nasos g'ildiragining  $n_{n1}$  aylanishlari soniga mos bo'lsa, u holda turbina g'ildiragining aylanishlari soni  $n_{m2}$  bo'lganda nasos g'ildiragining  $M_{n2}$  momenti nasos g'ildiragining  $n_{n2}$  aylanishlari soniga mos keladi va quyidagi munosabatdan topiladi:

$$\frac{M_{n2}}{M_{n1}} = \left( \frac{n_{n2}}{n_{n1}} \right)^2, \quad (21.12)$$

bundan

$$M_{n2} = M_{n1} \left( \frac{n_{n2}}{n_{n1}} \right)^2$$

Ma'lum burovchi moment va aylanishlar sonidan gidrotransformatorning FIK quyidagi formula yordamida annqlanadi:

$$\eta_{n2} = \frac{M_{m1}n_{m1}}{M_{n1}n_{m2}}, \quad (21.13)$$

Shu yo'l bilan qurilgan universal xarakteristika 3.18-rasmda keltirilgan, bunda 1÷6 lar nasos aylanishlari sonining 4000; 1800; 1600; 1400; 1200; 1000 qiymatlariga mos ravishda qurilgan.

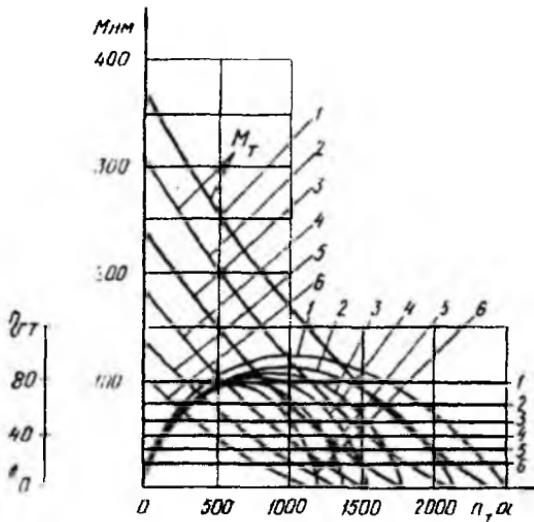
Universal xarakteristikaning ikkinchi ko'rinishi gidrotransformatorning keltirilgan xarakteristikasi asosida quriladi. Buning uchun nasos g'ildiragining aylanish soni  $n_n$  = const tanlab olinadi va  $i$  ning bir qancha qiymatlari va unga tegishli  $n_2 = in$  lar olinadi. Keltirilgan xarakteristikadan foydalanib quyidagilar hisoblanadi:

$$M_1 = \lambda_M \mathcal{H}^5 \eta_1 = M \lambda_M, \quad (21.14)$$

$$M_2 = KM_1, \quad (21.15)$$

$$\eta = f(i) = f(n_2) \quad (21.16)$$

bu yerda  $\lambda_M$  – nasos yoki turbina momentining proporsionallik koefisienti.



3.18 - rasm. Nasos aylanishlar sonining oltita  
qiymatiga moslab qurilgan universal xarakteristika

(21.14) va (21.15) tenglamalardan foydalananib turbina g'ildiragining aylanishlari soniga bog'liq ravishda  $M_1$  va  $M_2$  egri chiziqlar quriladi. Xuddi shu usul bilan nasos g'ildiragi  $n = an$  aylanishlari sonining boshqa qiymatlari uchun egri chiziqlar quriladi (bunda  $a$  ning qiymatlari  $a = 0,9; 0,8; 0,7$  va hokazo olinadi) va universal xarakteristika hosil qilinadi.

### 3.13-§. Gidrotransformator uchun o'xshashlik formulalari va ularning qo'llanishi.

O'xshashlik formulalari o'xshashlik nazariyasining natijasi bo'lib, gidrotransformatori loyihalashda va tajribalarda katta amaliy ahamiyatga ega. Ularning hammasi parrakli gidromashinalarning o'xshashlik qonunlarini qo'llashga asoslangan va „Nasoslarning o'xshashlik nazariysi asoslari“ bo'limida ko'rildi. O'xshashlik prinsiplari (modellashtrish) model sifatida qabul qilingan va nisbiy ish parametrlari  $k$ ,  $i, \eta$  ga mos keluvchi parrakli sistemaning o'chamlari va tajriba xarakteristikalarini ma'lum bo'lganda boshqa parrakli sistema ushun  $u_n$ ,  $M_m$ ,  $n_n, n_m$  larning berilgan

qiymatlarni qanoatlantiruvchi o'lchamlari va xarakteristikalarini aniqlashga imkon beradi. Bu  $n = \text{sonst}$  bo'lganda kerakli gidrouzatmaning tajriba xarakteristikalarini hisoblashga imkon beradi. Shuningdek, modellashtirish gidrouzatmani sinashda va parrakli sistemalarni yaratishda tajriba ishlarining hajmini keskin kamaytiradi. Ikki ish tartibi o'xshashlik qonunlariga muvofiq geometrik o'xshash parrakli g'ildiraklar chekkalarida tezlik uchburchagi o'xshash bo'ladi.

Yuqoridya aytilganlardan, ish tartiblari o'xshashlik shartining tashqi belgisi uzatma nisbati  $i$  ning o'zgarmasligidir. Bundan ko'rindiki, parrakli g'ildirakka oqim tomondan qo'yilgan moment ish suyuqligi zichligiga,  $\omega$  burchak tezligining kvadratiga va g'ildirak o'lchami  $D$  ning beshinchi darajasiga proporsionaldir:

$$M = \rho \omega^2 D^5 \quad (21.17)$$

(21.17) munosabatni parrakli g'ildirak momentining proporsionalligi deb ataladi. Gidrouzatma uchun yetaklovshi val aylanishlar shastotasi-aylanishlarning xarakter soni  $n$ , sifatida qabul qilinadi, xarakterli o'lchamlar uchun ish bo'shlig'ineng eng katta diametri olinadi. (21.17) ifodaga muvofiq shunga o'xshash gidrouzatma uchun  $i = \text{sonst}$  tartibida ishlaganda

$$\frac{M_n}{\rho \omega^2 D^5} = \lambda \text{ va } \frac{M_m}{\rho \omega^2 D^5} = K \lambda_n = \lambda_m \quad (21.18)$$

nisbatlar o'zgarmas bo'lishi kerak.

$$(21.18) \text{ ga muvofiq bunday tartiblarda } K = \frac{M_m}{M_n} = \frac{\lambda_m}{\lambda_n} \text{ va } \eta = Ki \text{ qiymatlari bir}$$

xildir  $i = \text{const}$  qiymatlarni momentlarning koeffisientlari deb ataymiz Gidrouzatmalarni sinash yo'li bilan,  $i = \text{const}$  bo'lganda, momentlarning qiymatlari kvadrat parabolalar bo'yicha joylanishiga ishonch hosil qilish mumkin:

$$M_n = \lambda_n \rho \omega_n^2 D^5 = c_n n_n^2, \quad (21.19)$$

$$M_m = K \lambda_n \rho \omega_n^2 D^5 = c_m n_m^2 \quad (21.20)$$

Bu ish tartibida esa FIK taxminan o'zgarmas bo'ladi. Bu esa (21.18) munosabatning o'zgarmasligini tasdiqlaydi. Ba'zi proporsionallik shartidan chetga chiqish hollari bo'lib, ular quyidagilar:

- 1) Gidrouzatmalardagi oqimlar uchun  $Re$  sonlarining farq qilishi, gidrouzatma uchun

$$Re = \frac{\omega_n D^2}{\nu}. \quad (21.21)$$

Gidravlik qarshilik koeffisientlari, ayniqsa, ishqalanish,  $Re$  sonining oshishi bilan kamayadi va birorta limitga intiladi. Shuning uchun gidrouzatma  $n_n$  yoki  $D_n$  kamayishi bilan, shuningdek suyuqlik qovushoqligi  $\nu$  ning o'sishi bilan,  $i=const$  moment koeffisienti kamayadi. Bu esa gidrotransformatorda uzatish momentining pasayishiga, ya'ni  $K$  va  $\eta$  laring kamayishiga olib keladi.

2) Oqar qismning silliqmaslik miqdori bilan zichlagich tirkishlarining o'lchamlari orasidagi mutanosiblikka rioya qilinmaslik bilan ifodalanuvshi masshtab faktorlarining ta'siri silliqmaslik va  $D$  nisbatida ko'rindi.  $D$  ning o'lchami kamayishi bilan nisbiy silliqmaslik ortadi va ishqalanishga ketadigan sarf kattalashadi. Bundan tashqari, tirkishlarni zichlagich nisbiy o'lchami ortadi va oqib ketish sarfining ulushi ortadi. Turbina gildiragi partraklar sistemasini oqib o'tuvchi oqim energiyasi, oqib ketish natijasida, kamayadi. Har ikkala masshtab faktorlari ( $i=const$  bo'lganda) oqimning kinematik o'xhashligini bo'ladi va kichik gidrouzatmaning xarakteristikasini kattasinikiga qaraganda yanada yomonlashtiradi.

3. Gidrouzatma uzatadigan momentlar uchun, podshipnik va zichlagichlarda ishqalanish sababli, (21.17) proporsionallik shartining bajarilmasligi. Proporsionallik shartining buzilishiga sabab  $n_n$  va  $D$  kamayishi va  $\nu$  qovushoqlikning kattalashishi bilan oqim hosil qilgan ishqalanish momenti  $M_n$  momentga nisbati o'sib boradi. Bunday sharoitda xarakteristikani qayta hisoblashda aniqlik buziladi.

### 3.14-§. Gidrotrasformatorlarning dvigatellar bilan birlgilikda ishlashi

**Gidrotransformatorlar o'zgaruvchan tok elektrodvigatellari, gaz turbinalari, karbyuratorli va dizelli ichki yonuv dvigatellari bilan birlgilikda ishlataladi. Agregatning gidrotransformator bilan birlgilikda ishlashining xarakteristikasini qurish uchun dvigatel, gidrotransformator va ijrochi mashinaning xarakteristikalari mavjud bo'lishi zarurdir.** Biror dvigatelning gidrotransformator bilan birlgilidagi ishlashining xarakteristikasini olish uchun dvigatel xarakteristikasini gidrotransformator nasosi g'ildiragining xarakteristikasi bilan birlashtiriladi. Bu xarakteristikalarning kesishish nuqtalari ularning birlgilidagi ishini ifodaladi Dvigatel-gidrotransformator aggregatining tashqi xarakteristikasini va ijroshi mashinaning xarakteristikasini bilgan holda bu

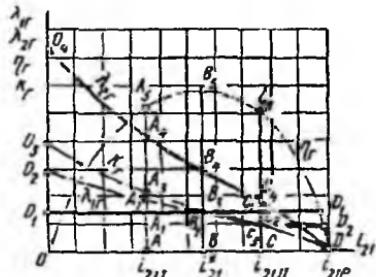
mashinaning harakat qonunini topish mumkin. Gidrotransformatorlar,  $M_n$  nasos va  $M_m$  turbina g'ildiraklarining momentlarini aniqlash formulalari yordamida, xarakteristika bo'yicha tanlab olinadi.

Birgalikdagi xarakteristikalarini o'rganish va gidrotransformatorlarni turli dvigatellar bilan qo'llash tajribasi quyidagilarni ko'rsatadi:

1. Katta „shaffoflik“ xarakteristikasiga ega bo'lgan hidrotransformatorlarning karbyuratorli ichki yonuv dvigateli bilan ishlashida eng yaxshisi dvigatel quvvatidan foydalanishdir;

2. Kichik „shaffoflik“ xarakteristikali hidrotransformatorlarning dizel bilan birga ishlashi qulay;

3. Rostlanmaydigan o'zgaruvchan tok elektr dvigateli bilan ishlaganda „shaffofmas“ xarakteristikali hidrotransformatorlardan foydalanish qulay.



3.19 - rasm. Gidrotransformator

xarakteristikasining ko'rinishda berilishi

Gidrotransformatorning ichki yonuv

dvigateli bilan birgalikda ishlashini ko'rib chiqamiz.

Gidrotransformatorning xarakteristikasi  $\lambda_{1g}(O_1D_1)$  va  $\lambda_{2g}(O_2D_2)$  ko'rinishda 3.19-rasmida ko'satilgan.

Gidrodinamik transformator "shaffofmas" yoki ma'lum darajada "shaffof" xarakteristikaga ega bo'lishiga qarab masala har xil ko'riliadi. Shaffoflik darajasining ta'sirini aniqlash uchun

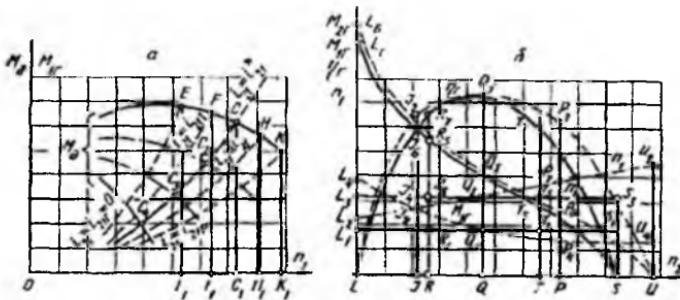
aktivlik diametri  $D$ , FIK  $\eta$  va transformasiya koefisienti  $K$  ning o'zgarishi qonunida moment koefisienti ( $O_2B_1D$  punktir chiziq)  $\lambda_{1g}$  ning esa boshqa o'zgarish qonuniyatida FIK ning maksimal tuzumida o'sha ( $BB_1$ ) kattalikka  $\lambda_{1g}$  mos bo'lgan holda ikkinchi hidrotransformatorning ishini ham ko'rib chiqamiz.

Dvigatel xarakteristikasi 3.20-rasm, tutash chiziq-yonilg'i to'la berilganda shtrix-punktir chiziq esa yonilg'i xarakteristikalar).

(21.14) tenglamaga o'xshash tenglamadan foydalaniб:

$$M_{1g} = \lambda_{1g} \eta n_1 D^5 \quad (21.22)$$

aylanishlar soni  $n$ , har xil bo'lganda, nasos g'ildiragi dvigateldan olgan momenti  $M_{lg}$  ni hisoblash mumkin. Bu momentni tasvirlovchi grafik 3.20-rasm,  $a$  da parabola ko'rinishida tutash chiziq bilan ko'rsatilgan.



3.20 - rasm. Dvigatel xarakteristikasi va kirish xarakteristikasi

S nuqtaning koordinatalari, yuklanishining demakki turbina g'ildiragi aylanishlar sonining ixtiyoriy o'zgarishida o'zgarmaydigan, uning aylanishlar soni ( $n_d = n_1 = O\bar{c}_1$ ) ni va dvigateidan olinadigan moment ( $M_d = M_{1s} = c\bar{c}_1$ ) ni aniqlaydi.

Dvigatel to'liqmas xarakteristikalarda ishlaganda mos ravishda uchragan  $s_2$ ,  $s_3$ , va  $s_4$  nuqtalar o'zlarining koordinatalari bilan dvigatelning yuklovchi momentini va aylanishlar sonini aniqlaydi. Demak, dvigatelning hamma xarakteristikalari maydonidan  $s, s_1$  parabolada yotgan nuqtalarignia ishlataladi va ular uchun yoqilg'ining solishtirma sarfi mumkin qadar kam bo'lishiga erishish uchun harakat qilish kerak. Ulardan tashqari, dvigatel xarakteristikasini yuklash zonasiga qat'iy reglamentasiya qilinganda gidrodinamik transformator boshqarish dvigatelingin moslovshisi ham bo'ladi. 3.20-shakl, b da gidrodinamik transformator nasos g'ildiragining ishki yonuv dvigateli bilan birlgiligidagi ishining xarakteristikasi tasvirlangan bo'lib, u qirish xarakteristikasi deb ataladi. Turbina g'ildiragining aylanishlari soni har xil bo'lganda kirish xarakteristikasi, ya'ni  $M_{2g}, M_{1g}$  va  $K_g$  har xil uzatish nisbaglari  $i$  uchun hisoblanadi. Shunday uzatish nisbatalaridan birini ko'rib shiqamiz:  $i_{21} = OA = i_{211}$ . Buning uchun 3.19-rasmdan  $K_2 = AA_1$  va  $\eta_g = AA_1$  larni topish mumkin. 3.20-rasm, a dan esa bu uzatish nisbati uchun  $n_1 = OC_1$  va  $M_{1g} = C_1C$  larni topamiz.  $i_{21} = n_{211}$ , tenglamadan turbina g'ildiragi aylanishlari soni aniqlanadi:  $n_{21} = i_{211}n_{21}$ , bu esa tanlab olingan mashtabda

$M_{1g}, n_1, \dots, M_{2g} = K_2 M_{1g}$  va  $\eta_2$  qiymatlarni  $R_1, R_2$  va  $R_3$  nuqtalar bilan qayd qilishga imkon beradi.

Bir qancha uzatish nisbatlari uchun shunga o‘xshash ish bajarsak,  $M_{1g}, \dots, M_{2g}, \eta_2$  va  $n_1$  larni mos ravishda ifodalovchi  $L, R, Q, T, S; L_5, R_5, Q_5, T_5, S; L, R_7, Q_7, T_7, S$  va  $L_3, R_3, Q_2, T_3, S_3$  xarakteristikalarini hosil qilamiz.

Dvigatel to‘liqmas xarakteristikalarda ishlaganda ham chiqish xarakteristikalarini shu usul bilan quriladi, faqat bu hol uchun  $n_1 = OC_1$  va  $M_{1g} = C_1 C$  kesmalar o‘rniga  $S_2, S_3$  va  $S_4$  nuqtalarining mos keluvchi koordinatalaridan foydalaniлади. Gidrodinamik transformatorga ega bo‘lgan mashinalarning hisobi shu usul bilan olingan chiqish xarakteristikalarini yordamida bajariladi. Biror shaffoflikka ega bo‘lgan gidrodinamik transformator ishlaganda kirish xarakteristikasi boshqacha olinadi. Qator uzatish nisbatlarini berish bilan har biri uchun o‘z momenti  $\lambda_{1g}$  ning qiymati olinadi. Demak,  $i_{21} = i_{211} = 0$  uchun  $\lambda_{1g,1} = OO_2$  (3.19-rasmiga qarang);  $i_{21} = i_{211}$  uchun  $\lambda_{1g,1} = AA_2$ ;  $i_{21} = i_{21}'$  uchun  $\lambda_{1g}^8 = BB$ ;  $i_{21} = i_{211}$  uchun  $\lambda_{1g,11} = CC_2$  va tezlatish tartibi  $i_{21} + i_{21p}$  uchun  $\lambda_{1gp} = DD_2$ . Shuning uchun har bir uzatish nisbati uchun o‘zining yuklanish parabolasi bo‘ladi va u kirish xarakteristikasi bo‘yicha hisoblanadi. Dvigatel tashqi xarakteristikasi bilan yuklanish parabolasining kesishish nuqtalari o‘z koordinatalari (3.20-rasm a ga qarang, E, F, S, H va K nuqtalar) yordamida nasos g‘ildiragi aylanishlari soni  $n_1$  va nasos g‘ildiragiga tashqi yuklanish momentlari aniqlanadi. Dvigatel xarakteristikasining ish qismi parabolalar bog‘lamini chizish bilan aniqlanadi va aynan shu qismda yoqilg‘ining eng kam solishtirma sarfiga ega bo‘ladi. Chiqish xarakteristikasida har bir tanlab olingan uzatish nisbatiga tegishli nuqtalar ko‘riladi, bunda „shaffofmas“ xarakteristikali transformatordan farqli ravishda har bir uzatish nisbati uchun o‘zining  $M_{1g} = M$  va  $n_1 = n_d$  qiymatlari bo‘ladi.

Uzatish nisbati  $i_{21} = i_{211}$  uchun yuklanish momenti  $E_1 E = M_{1d}$  va mos ravishda nasos g‘ildiragi aylanishlari sonining qiymati,  $OE_1 = n_1$  kesmalari asosida kirish xarakteristikasi quriladi.

Turbina g‘ildiragining aylanishlari soni  $n_{21}^1 = i_{21} n_{11} = i_{21} OE_1$   $LJ = n_{21}^1$  ko‘rinishdagи kesma bilan ifodalaniлади, so‘ngra  $J_2, J_4, J_6$  va  $J_7$  (3.20- rasm, v da  $J_2$  va  $J_3$  nuqtalar ustma-ust tushgan). Nuqtalar yordamida 3.19 va 3.20-rasm, a lardan olingan mos

kesmalar bo'yicha  $n_1 = OE_1$ ,  $M_{1g} = E_1 E - M_{2g}$ ,  $K_g M_{1g}$  va  $\eta_g$  miqdorlar aniqlanadi. Bir qancha uzatish nisbati uchun shunga o'xshash qursak,  $M_{1g} - M_{2g}$ ,  $\eta_g$  va  $\eta_1$  lami mos ravishda tasvirlovchi chiqish xarakteristikasini punktir egri chiziqlar  $L_4 J_4 Q_1 P_4 U_4$ ;  $L_6 J_6 Q_5 P_6 U$ ;  $L_1 J_1 Q_1 U$  va  $L_2 J_2 Q_2 P_2 U$ , ko'rinishda olamiz. Shaffof xarakteristikali gidrodinamik transformator turbina g'ildiragi valida katta aylanishlar sonini olishga imkon beradi, demak, mashina tezligi katta bo'ladi. Bunday hidrotransformator FIK ni kichik va katta tezliklarda, so'zsiz oshiradi va nihoyat, dvigatelning momenti va aylanishlari imkoniyatidan to'la foydalanish hisobiga hamda turbina g'ildiragi validagi moment absolyut miqdorining kattalashuvi hisobiga tortish xarakteristikasi yaxshilanadi.

Gidrotransformatorning dvigatel bilan birlgilikda ishlashi to'rtta har xil tartiblarga bo'linishi mumkin. Ular bir-biridan hidrotransformatorning xossalalarini ifodalovchi bir necha prinsipial xususiyatlari bilan farq qiladi.

Agar nazariy holni ko'rsak, ya'ni mexanik energiya sarf bo'lmasa, unda quyidagilar bo'lishi mumkin.

1.  $i = 1$ ;  $M_T = M_n$ ;  $M_R = 0$  bo'lgan tartib. Reaktorda moment bo'lmaydi, transformasiya koefitsienti  $\frac{M_T}{M_H} = 1$ .

2.  $i < 1$ ;  $M_T > M_n$ ;  $M_R < 0$  bo'lgan tartib. Reaktorga manfiy moment ta'sir qiladi, buning hisobiga reaktor turbina aylanishiga teskari yo'nalish bilan aylanishga harakat qiladi. Biroq bunda unga mashina korpusi yoki erkin yurish mexanizmi bilan bo'lgan qattiq bog'lanish qarshilik qiladi. Gidrotransformator  $\frac{M_T}{M_n} > 1$  munosabat bilan momentni uzatadi.

3.  $i > 1$ ;  $M_T < M_n$ ;  $M_R > 0$  bo'lgan tartib. Erkin yurish mexanizmi yo'q. Reaktorga musbat moment ta'sir qiladi, buning natijasida reaktor turbina qaysi yo'nalishda aylansa, o'sha yo'nalishda aylanishga harakat qiladi. Biroq, bunda unga mashina korpusi bilan bo'lgan qattiq bog'lanish qarshilik qiladi. Gidrotransformator  $\frac{M_T}{M_n} < 1$  munosabat bilan momentni uzatadi.

4.  $i > 1; M_T = M_n; M_R = 0$  bo‘lgan tartib. Reaktor erkin yurish mexanizmiga o‘rnatalilgan. Reaktor musbat moment ta’sirida turbina yo‘nalishida va taxminan o‘sha aylanishlar soni bilan aylanadi. Gidrotransformator gidromufta tartibiga o‘tadi va  $\frac{M_T}{M_n} = 1$  munosabatl moment uzatadi.

### 3.15-§. Kompleks hidrotransformatorlar

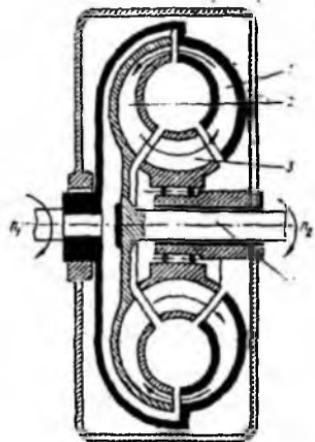
Gidrotransformatorga o‘xshab ham, gidromuftaga o‘xshab ham ishlay oladigan va biridan ikkinchisiga avtomatik ravishda o‘tadigan uzatmalar kompleks uzatmalar deb ataladi.

3.21-rasmda ko‘rsatilgan uch g‘ildirakli hidrotransformator asosida ko‘rilgan kompleks hidrouzatma ishining xususiyatlarini ko‘rib chiqamiz. 3.22-rasmda shu hidrouzatmaning xarakteristikasi ko‘rsatilgan.

Ish g‘ildiraklari va reaktor momentlarining algebraik yig‘indisi nolga teng

$$M_1 + M_2 + M_3 = 0 \quad (21.23)$$

bunda  $M_1$  – musbat ishorali (nasos oladigan energiyaga mos keladi);  $M_2$  – manfiy ishorali (turbina oladigan energiyaga mos keladi);  $M_3$  – manfiy ishorali (reaktor oladigan energiyaga mos keladi).



3.21 - rasm. Ush g‘ildirakli hidrotransformator  
aosida ishlaydigan kompleks hidrouzatma

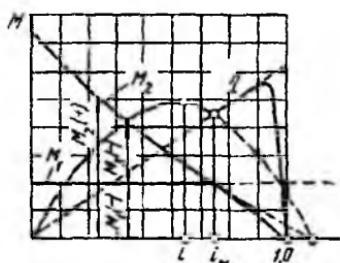
Shuning uchun  $|M_2| > |M_1|$  bo‘lganda reaktor momenti  $M_3 < 0$ , ya’ni u turbina aylanish yo‘nalishiga teskari yo‘nalgan. Yetaklovchi valdag‘i yuk kamayishi bilan momentning absolyut miqdori kamayadi va  $i_1 = i_m$  bo‘lganda,  $|M_2| = |M_1|$  bo‘lgani sababli  $M_3$  moment nolga teng bo‘lib qoladi. Yukning kamaytirilishi davom etganda va mos ravishda uzatish nisbati o‘sib borganda ( $i_1 > i_m$ ) moment o‘z ishorasini o‘zgartiradi va ish g‘ildiraklarning aylanish yo‘nalishi bo‘ylab harakat qiladi. Kompleks hidrouzatmada reaktor o‘zish muftasi 4 ning korpusiga o‘rnatalilgan, bu

esa uning ish g'ildiraklari yo'nalishida erkin aylanishiga imkon beradi va  $M_3$  qaramaqarshi tomonga aylanish imkonini yo'qotadi. Shuning uchun ham  $M_3$  moment hozircha ish g'ildiraklari aylanishiga teskari yo'nalgan, reaktor qo'zg'almasdir va gidrouzatma gidrotransformator tartibida to  $i_m$  gacha ishlaydi.  $M_3$  moment aylanish yo'nalishida harakat qilganda va  $i > i_m$  bo'lganda, o'zish muftasi reaktorga ta'sir etayotgan moment ta'sirida uning erkin aylanishini ta'minlaydi. Erkin aylanish bo'lganda reaktor suyuqlik oqimi ta'sirida bo'lib, katta qarshilik ko'rsatmaydi. Bu arzimas qarshilik o'zish muftasidagi ishqalanish xisobiga paydo bo'ladi va yutiladi.

$M_3 \approx 0$  deb xisoblash mumkin bo'lganligi sababli (21.22) tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$M_1 + M_2 = 0 \quad (21.24)$$

bu esa gidromuftalar uchun xarakterlidir, ya'ni  $i < i_m$  bo'lganda gidrotransformator gidromuftaga o'xshab ishlaydi (3.22-rasmdagi xarakteristikaning o'ng qismiga qarang).



3.22 - rasm. Kompleks gidrouzatmaning xarakteristikasi

Keyinchalik turbinaga tushadigan yuklanish yana oshirilsa, uzatish nisbati kamayadi va  $i < i_m$  bo'lganda, uzatma avtomatik ravishda gidrotransformatorga o'xshab ishlaydi. Xarakteristikadan ko'rindaniki kompleks hidrouzatmaning FIK ning yuqori qiymatlari chegarasi (tutash chiziq) mahkam o'matilgan reaktorli uch g'ildirakli hidrotransformatornikidan (punktir chiziq) yetarli darajada yuqoridadir. Ancha katta oraliqda ish tezliklari chegarasini kengaytirish va bu bilan birga umumiy FIK ortishini yetarli darajada kattalashtirish uchun hidromekanik transmissiyalardan foydalaniladi.

Transformasiya koeffisientini turbina g'ildiragining bir nechta bosqichlaridan foydalanish hisobiga ham oshirish mumkin.

### **XXII b o b. HAJMIY GIDROUZATMALAR. ASOSIY TUSHUNCHALAR**

#### **3.16-§. Gidrouzatmalarining vazifalari, guruhlanishi, qo‘llanish sohasi, afzalligi va kamchiliklari**

Hajmiy gidrouzatmalar hajmiy gidromashinalar yordami bilan mexanik energiyani uzatish va o‘zgartirish uchun mo‘ljallangandir. Hajmiy nasos va gidrovvigateldan tuzilgan qurilma hajmiy gidrouzatmaning prinsipial asosi hisoblanadi. Agar nasos va gidrovvigatel qurilishi jihatdan bo‘linmaydigan birikma tashkil qilsa, unda bunday sodda gidrouzatma hajmiy gidrouzatma deyiladi. Agar kuch gidrosistemasi alohida nasoslar, gidrovvigatellardan tashkil topgan bo‘lib, gidroapparat elementlari, yordamchi qurilmalarga ega bo‘lsa, bunday gidrosistemani ham hajmiy gidrouzatma deb atash qabul qilingan. Shunday qilib, hajmiy gidrouzatmalarga oddiy gidravlik sistemalar kiradi. Ular mexanik energiyani uzatish va o‘zgartirish uchun xizmat qiladilar.

Mashinalar va ishlab chiqarish jarayonlarida avtomatik boshqarish qo‘llanishi bilan gidravlik uzatmalarining qiymati oshib bormoqda, chunki bu xildagi uzatma bilan boshqarish oson va uni ishonchli gidroapparatura qurilmalari yordamida suyuqlik oqimiga oddiygina ta’sir etib avtomatlashtirish mumkin.

Hozirgi metallga ishlov berish stanoklarining deyarli hammasi: eng oddiy bo‘ylama randalash stanoklaridan boshlab, murakkab nusxa ko‘chirish stanoklarigacha hajmiy gidrouzatma bilan ta’minlangan. Shuningdek, paxta zavodlaridagi gidropresslar ham gidrouzatmalar yordamida harakatga keladi. Dvigatelning chiqish zvenosiga qarab gidrouzatmalarini ilgarilab boradigan va aylanma harakat qiladigan gidrouzatmalarga ajratiladi. Shuning uchun gidrouzatmaning nomi gidrovvigatelning turiga qarab aniqlanadi. Gidrovvigatel ishini xarakterlaydigan kattaliklarning o‘zgarishi suyuqlik sarfini va dvigatel bilan nasosni ulaydigan magistraldagi bosim kattaligini o‘zgartirish yo‘li bilan boshqariladi.

Gidrouzatmalar boshqarilmaydigan, qo‘l bilan boshqariladigan va avtomatik boshqariladigan, ergashuvchi gidrouzatmalarga ajraladi. Mavjud mexanik, elektrik, pnevmatik, kombinasiyalangan va boshqalarga nisbatan gidrouzatmalarining quyidagi ustunliklarini ko‘rsatish mumkin;

1. Kichik gabarlarda ham katta zo'riqish va quvvat uzatishi mumkin.
2. Kuch organlarining silliq harakat qilishi ta'minlangan, tezlik va yuklanish avtomatik boshqariladi.
3. Ilgarilama-qaytma va aylanma harakatlarni tez o'zgartirishiga imkon beradi.
4. O'zgarayotgan kuchlarni bosim orqali nazorat qilish manometrlar yordamida oson amalga oshiriladi.

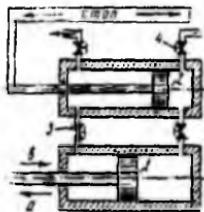
Yuqoridaq ustunliklar bilan bir qatorda kamchiliklari ham bor:

1. Gidravlik sarf yoki tezlik katta bo'lganda FIK past bo'ladi.
2. Havo tiqilib qolganda gidravlik zARBalar natijasida silkinish ro'y beradi.
3. Suyuqlikning ortib ketishi va siqilishi aniq koordinasiyalashni qiyinlashtiradi.

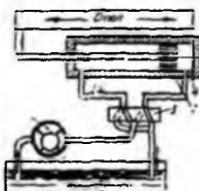
### 3.17-§. Hajmiy gidrouzatmaning ishlash prinsipi

3.23-rasmda nasos porshen 1 ning ilgarilama-qaytma harakatini kuch silindridagi porshen 2 ning ilgarilama-qaytma harakatiga aylantiruvchi qurilmaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Porshen 1 strelka bilan ko'rsatilgan yo'nalishda harakat qilganda suyuqlik kanal 3 bo'ylab keladi va porshen 2 ni bosib, stolni chapga strelka *b* bilan ko'rsatilgan yo'nalishga siljitetadi. Porshen 2 ning boshqa tomonidagi silindrda bo'lgan suyuqlik kanal 4 dan chiqib ketadi. Porshen 1 strelka *a* yo'nalishi bo'ylab harakat qilganda porshen 2 va u bilan bog'liq bo'lgan stol teskari yo'nalishda harakat qiladi.

3.24-rasmda nasos rotori 1 ning aylanma harakati kush silindri 4 dagi porshen 2 ning to'g'ri chiziqli harakatiga o'tkazilishi misol tariqasida keltirilgan. Taqsimlash qurilmasi 3 suyuqlikning porshen 6 o'ng va chap tomonidan navbat bilan berilishini boshqaradi va mos ravishda porshenning ishlamayotgan tomonidagi suyuqlikning idishga qaytadan chiqib ketishini ta'minlaydi.

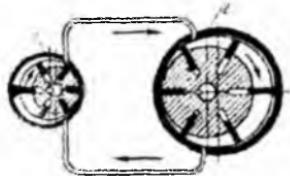


3.23 - rasm. Nasos va gidrovigatelli porshenli hajmiy gidrouzatma

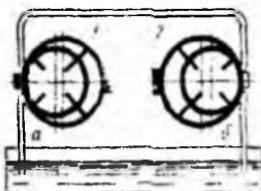


3.24 - rasm. Nasosi rotorli va hidrovigateli porshenli hidrouzatma

3.25-rasmda esa nasos rotori 1 ning aylana xarakatining gidrodvigatel rotori 2 ning aylanma xarakatiga o'zgartirish sxemasi berilgan. Bu sxemada gidrosistema ochiq bo'ladi: suyuqlik idishdan a truba bo'ylab so'rib olinadi va o'sha rezervuarga truba b bo'ylab chiqariladi. Shuningdek, hajmiy gidrouzatma sxemasi 3.26- rasmida ko'rsatilgan, unda nasos rotori 1 ning aylanma harakati gidrodvigatel rotori 2 ning aylanma harakatiga o'zgartiriladi. Bunda gidrosistema yopiq bo'ladi.



3.25 - rasm. Rotorli ochiq hajmiy  
gidrouzatma



3.26 - rasm. Rotorli yopiq hajmiy  
gidrouzatma

Ilgarilama-qaytma harakat qiladigan gidrouzatmalarda suyuqlikning potensial energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda porshenli gidrosilindr sistemaning asosiy elementi hisoblanadi. Bir tomonloma harakat qiladigan kuch silindrlari faqat bir tomondan suyuqlik bosimi ta'sirida bo'ladi, teskari harakat esa, prujina ta'sirida amalga oshadi. Bunday silindrlarni *bir tomonloma harakatlanuvchi* deb atash qabul qilingan. Bular bilan bir qatorda ikki tomonloma va burilma harakatlanuvchi gidrosilindrler ham qo'llaniladi. Burilma gidrosilindrler *kvadrantlar* deyiladi. Turli xil gidrosilindrler va rotorli hidrodvigatellar (gidromotorlar) ning sxemalari, qurilmalari va ishlash prinsiplari „Gidravlik dvigatellar“ bobida ko'rildi.

### 3.18-§. Chiqish tezligini drosselli va hajmiy boshqarish

Drosselli boshqarishda nasos iste'mol qiladigan quvvat o'zgarmas qoladi, gidrosilindr porshenining tezligi esa drossel qarshiligining kattaligiga bog'liq ravishda o'zgaradi. Moyning bir qismida bosim ortib ketadi va hech bir foydali ish bajarmay, saqlagich klapan orqali bakka quyiladi.

Binobarin, drosselli boshqarish sarf kattaligining, ya'ni gidrouzatma FIK ning o'zgarishiga asoslangan. Shu sababli drosselli boshqarish quvvat kichik bo'lganda qo'llaniladi.

Hajmiy boshqarishli gidrorzatmadan drosselli boshqarishning farqi shuki, nasosda suyuqlik sarfi doimo silindrini suyuqlik sarfidan katta bo'ladi. Qoldiq moy gidrosilindrni maxsus bakka chiqazib yuboriladi.

Silindrga keladigan yoki silindrni chiqib ketadigan moy miqdori gidrosilindrni chiqishda, unga kirishda yoki parallel ulangan drossel bilan boshqariladi.

3.27- rasmida chiqishda drosselli boshqariladigan va ilgarilama harakat qiladigan gidrouzatmaning sxemasi keltirilgan.

Drosselning suyuqlik o'tkazuvchi trubasining kesimi qanchalik katta bo'lsa, gidrosilindrni moy shunchalik ko'p oqib o'tadi. Dam beradigan nasosning qoldiq moyi quyish klapani orqali oqib chiqib ketadi.

Gidrouzatma sxemasiga nasos va gidrosilindrni tashqari, taqsimlagich 3, drossel 4, saqlagich klapan 5 ham kiradi. Bakdan so'rib olinadigan moy nasos yordamida gidrosilindrning

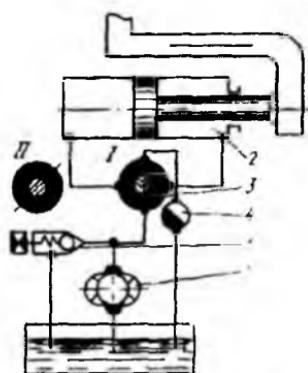
3.27 - rasm. Drosselli boshqariladigan ilgarilama-qaytna gidrouzatma

porshen bo'shiliga yuboriladi va u porshenni harakata keltiradi. Bu paytning o'zida gidrosilindrning shtok bo'shiligidagi moy bakka quyiladi. Taqsimlovchi II holatga o'tkazgandan keyin suyuqlik oqimining yo'nalishi o'zgaradi, buning hisobiga porshen teskari tomonga harakat qiladi. Gidrouzatmada bosimning haddan tashqari oshib ketishidan saqlash uchun sxemada saqlagich klapan ko'zda tutilgan, u gidrosilindr shtokidagi tashqi yuklanish haddan tashqari ortib ketganida avtomatik ravishda ishlaydi. Bunda moy gidrosilindrni chetlab o'tib, bakka yuboriladi, sistemada esa saqlagich klappingning sozlash prujinasiga mos keladigan bosim barqarorlashadi.

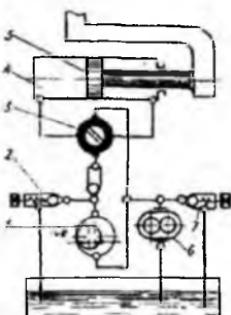
Porsheniing ko'chish tezligi nasosdan gidrosilindrni keladigan moy sarfiga bog'liqdir:

$$v = \frac{Q}{S}, \quad (22.1)$$

bunda  $Q$  – gidrosilindrning sarfi;  $S$  – gidrosilindrning samarali yuzasi. Porshenning yuzasi o'zgarmas, shuning uchun porshen tezligini faqat sarfni o'zgartirish hisobiga (drosselli) boshqarish mumkin.



Porshen tezligi o'zgarmas bo'lishi uchun maxsus moslagichlar (regulyatorlar) ishlataladi. Moslagich shtokdagn yuklanishning o'zgarish xarakteriga bog'liq bo'limgan holda porshen tezligini o'zgarmas saqlashga imkoniyat beradi.



3.28 - rasm. Hajmiy boshqariladigan ilgarilama-qaytma gidrouzatma

Hajmiy boshqarishli ilgarilama harakat qiladigan gidrouzatmaning sxemasi 3.28-rasmda ko'rsatilgan. Boshqariladigan nasos yordamida moy gidrosilnndr 4 ning bo'shlig'iga uzatiladi va porshen 5 ni siljitadi. Moy silindrning shtok bo'shlig'idan taqsimlagich 3 va tirkak klapan 7 orqali bakka siqib chiqiladi. Porshen tezligini bosqichsiz tartibga solish nasos uzatishinnng o'zgarib turishi hisobiga amalga oshadi. Porshenning harakat tezligi kichik bo'lganda, ya'ni nasos kichik uzatishga mo'ljallab

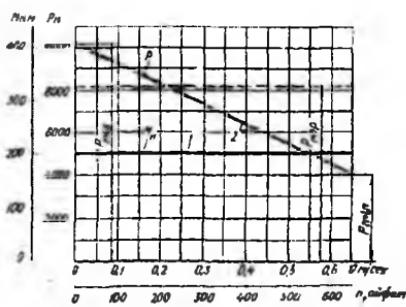
boshqariladigan bo'lsa, moyning oqib ketish miqdorini gidrosilindrdan chiqadigan suyuqlik sarfi bilan tenglashtirish mumkin. Bu esa yuklanish o'zgarganda tezlikning o'zgarishiga olib keladi va porshenning harakat tezligi kichik bo'lganda hajmiy boshqarish imkoniyatlari shegaralab qo'yadi. Hajmiy boshqarishli gidrouzatmaning ustunligi o'zgaruvshan uzatishli nasosning energiyasini yo'qotmasdan, ish organidagi tezlikning uzlksiz o'zgarib turishiga imkon berishidadir.

Boshqarish usulini tanlash ko'pgina ko'rsatkichlar bilan aniqlanadi. Bularga quvvat, bosim, foydali yuklanishning o'zgarish xarakteri va boshqalar kiradi. Hajmiy boshqarish va yuklanish o'zgarmas bo'lganda shtokdagi nasos quvvati va porshen tezligi nasosning so'rishi proporsionaldir. Boshqarishning bu usuli ishga tushiruvchi yuklanish bo'lganda va shtokda katta zo'riqish talab qilinganda qo'llaniladi.

### 3.19-§. Hajmiy gidrouzatmalarining xarakteristikalari va FIK

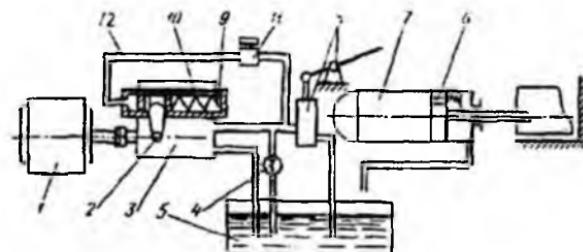
Hajmiy gidrouzatma ajoyib bir xossaga ega: yetaklovchi valdag'i momentni o'zgarmas saqlagan holda, yuklanishning o'sishi bilan ish asboblaridagi zo'riqishni yoki momentni kattalashtira oladi. Bu xossa metallarni ishlash, yer qazish ishlari va boshqa hollarda mashinalardagi yuklanish katta oraliqda o'zgarib turishi mumkin bo'lgan va

operator o‘z vaqtida uning o‘zgarishini hisobga olib, motorni yoki ish asboblarini yukning ortib ketishi yoki buzilishidan saqlashi zarur bo‘lgan hollarda juda qimmatlidir.



3.29 - rasm. Hajmiy sarfini boshqarishli  
hajmiy gidrouzatma

bog‘liqligi to‘g‘ri chiziq ko‘rinishida berilgan bo‘lib, tezlik o‘qiga paralleldir. Biroq silindrda bosimning ortishi bilan ish organidagi qarshilik ortadi va moslagich 9 ning harakati tufayli ish organi harakatining tezligi kamayadi. Ish zvenosida zo‘riqishning tezlikka bog‘liqligini xarakterlovchi grafik yotiq chiziq 2 ko‘rinishida bo‘ladi. Chiziq 2 ning ordinata o‘qidan kesgan bo‘lagi  $P_{max}$  bo‘ladi.



3.30 - rasm. Nasos sarfini boshqarishli hajmiy gidrouzatma

$\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{nor}}}$  nisbat transmissiyaning ehtiyotlagich xossasini aniqlaydi: bu nisbat qanchalik yuqori bo‘lsa, gidrouzatmaning sifati shunchalik yaxshi bo‘ladi.

1 va 2 grafiklardan ish organidagi o‘zgaruvchan zo‘riqish yetaklovchi valdag'i momentning o‘zgarishiga ta’sir etmasligi ko‘rinadi. Hajmiy gidrouzatmaning bu xossasi tashqi xarakteristikani „shaffofmasligi“ deyiladi. Ijro etuvshi mexanizm kuch silindri

emas, balki gidromotor bo'lganda ham hajmiy gidrouzatma xuddi shunday tashqi xarakteristika tuzish mumkin. U xolda abstsissa o'qiga gidrovvigatelning aylanishlar soni  $n_T$  ni, ordinata o'qiga esa momentni qo'yiladi.

Gidromotor ish xajmini boshqarish imkonini bo'lgan gidrouzatmalarda uning burovchi momenti xarakteristikasi gorizontal chiziq ko'rinishda bo'ladi. Gidrouzatmalarda nasos sarfining o'zgarishini boshqarish usuli xam foydalaniladi. FIK ning qiymatlari xaddan tashqari yuqori bo'lgan soxada nasos sarfini boshqarish  $40 \div 1$  oralig'ida amalgalashiriladi, motor ish xajmini boshqarish esa  $4 \div 1$  orolig'ida ruxsat etiladi. Nasos va motorming boshqariladigan umumiy boshqarish soxasi  $1000 \div 1$  orolig'ida bo'lgan, gidrouzatkichlar xam bor.

Ish organidan olinadigan quvvati  $N_{no}$  suyuqlik bilan keltiriladigan  $N_c$  quvvati kichik. Bularning nisbati

$$\eta = \frac{N_{no}}{N_c} \quad (22.2)$$

esa gidrouzatmaning umumiy FIK ni beradi va u quyidagicha hisoblanadi:

$$\eta = \eta_I \eta_S \eta_{Tr} \quad (22.3.)$$

bunda  $\eta_I$  – taqsimlagichning FIK;  $\eta_S$  – silindrning FIK;  $\eta_{Tr}$  – silindrning mumiy FIK.

Yuqorida ko'rilgan FIK larning har biri o'z navbatida gidravlik, hajmiy va ba'zan mexanik FIK larning ko'paytmasidan iborat bo'ladi, ya'ni:

$$\eta_I = \eta_{I,g} \eta_{I,haj} \quad (22.4)$$

$$\eta_S = \eta_{S,g} \eta_{S,haj} \eta_{S,mex} \quad (22.5)$$

$$\eta_{Tr} = \eta_{Tr,g} \eta_{Tr,haj} \quad (22.6)$$

Nasos validagi quvvat quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$N_v = \frac{N_c}{\eta_n} \quad (22.7)$$

Bunda  $\eta_n$  – nasosning umumiy FIK; u gidravlik, xajmiy va mexanik FIK lar ko'paytmasiga teng:

$$\eta_n = \eta_g \eta_{haj} \eta_{mex} \quad (22.8)$$

Xamma gidravlik FIK lar ko'paytmasi  $\eta_{ng} \eta_{Tr,g} \eta_{S,T}$  sistemasining umumiy gidravlik FIK ni beradi, uni quyidagi formuladan aniqlash mumkin

$$\eta_g = \frac{p_n - \sum \Delta p}{p_n} = 1 - \frac{\sum \Delta p}{p_n} \quad (22.9)$$

bunda  $p_n$  – nasos hosil qilgan to‘liq bosim;  $\sum \Delta p$  - bosimning yo‘qolishi.

Bosimning pasayishi quyidagi formuladan hisoblab topiladi:

$$\sum \Delta p = \sum \zeta_n \frac{v_n^2}{2g} \gamma = \frac{\gamma}{2g} \sum \zeta_n v_n^2 \quad (22.10)$$

bunda  $\zeta_n$  – mahalliy yo‘qotish koefisienti;  $v_n$  – moy uzatgich trubaning birorta elementidagi suyuqlikning m/s lardagi o‘rtacha tezligi bo‘lib, u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$v = \frac{Q}{S} \quad (22.11)$$

bunda  $Q$  – suyuqlik sarfi  $m^3/s$ ;  $S$  – trubauzatgishning haqiqiy kesim yuzasi,  $m^2$ .

$\eta_{n,haj}\eta_{m,haj}\eta_{s,haj}$  ko‘paytma sistemaning umumiy hajmiy FIK ni beradi, uni quyidagi formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\eta_{haj} = \frac{Q_n - Q_{ok}}{Q_n} = 1 - \frac{Q_{ok}}{Q_n} \quad (22.12)$$

bunda  $Q_n$  – nasosning nazariy sarfi;  $Q_{ok}$  – oqib ketish sarfi. Uni (5.19) formula bilan aniqlanadi:

$$Q_{ok} = \frac{h_t^3 \Delta P \delta}{12 \mu L} \quad (22.13)$$

bunda  $h_t$  – tirkish kattaligi;  $\delta$  – tirkishning eni;  $\Delta P$  – bosim o‘zgarishi;  $\mu$  – suyuqlikning dinamik qovushoqlik koefisieti;  $L$  – tirkishning suyuqlik oqimi yo‘nalishidagi uzunligi.

Butun sistema uchun  $\eta_g$  – va  $\eta_{haj}$  – ko‘paytma suyuqlikning FIK ni beradi. U holda umumiy FIK quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\eta = \eta_c \eta_{mech,n} \eta_{mech,s} \quad (22.14)$$

bunda  $\eta_{mech,n}$  – nasosning mexanik FIK;  $\eta_{mech,s}$  – ish silindrining mexanik FIK. Quvvatni moment va burchak tezlik orqali ifodalarak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\eta = \frac{N_{T,o}}{N_c} = \frac{M_{g,d} \omega_{g,d}}{M_c \omega_c} \quad (22.15)$$

bunda  $M_{g,d}$  – gidrosvigatel hosil qilgan moment;  $M_c$  – nasos validagi moment;  $\omega_{g,d}$  – gidrosvigatel valining burchak tezligi  $\omega_c$  – nasos valining burchak tezligi.

Agar gidrosvigatel o‘rnida kuch silindri bo‘lsa, u holda bunday sistemaning FIK quyidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$\eta = \frac{pv}{102M_c\omega_c} = \frac{pv60102}{102M_c2m_c} \approx \frac{pv716}{102M_c n_c} \approx \frac{7pv}{M_c n_c} \quad (22.16)$$

bunda  $p$  – porshen shtokidagi bosim;  $v$  – porshen shtokining tezligi;  $M_s$  – nasos validagi moment;  $n_s$  – nasos valining aylanishlar soni. Gidromotor valining (yetaklanuvchi val) aylanishlari soni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$n_g = \frac{Q}{q} \quad (22.17)$$

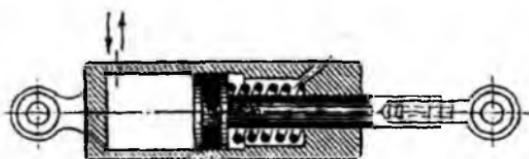
bunda  $Q$  – suyuqlikning haqiqiy sarfi;  $q$  – motor rotorining bir aylanishga mos kela-digan suyuqlik miqdori.

## XXIII b 0 b GIDRODVIGATELLAR

### 3.20 - § Kuch gidrovigatellarining tuzilishi va vazifalari

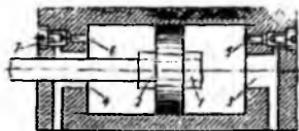
Kuch gidrovigatellari hajmiy gidrouzatma sistemasining asosiy qismi bo'lib, silindrda porshenni siljitim yo'li bilan suyuqlik potensial energiyasini mexanik energiyaga aylantirish uchun foydalaniładi. Porshen bilan uzatiladigan gidrosilindrлarda energiya manbai xizmatini biror nasos bajaradi. Ilgarilama – qayta va aylanma haraktga asoslangan kuch gidrosilindrлari porshen prinsipi bo'yicha ishlaydi va uch turga bo'linadi: bir harakatli; ikki harakatli va burilma harakatli silindrлar. Burilma harakatli silindrлar kvadrantlar ham deb ataladi.

3.31 – rasmida bir harakatli kuch gidrosilindrining sxemasi keltirilgan. Bunda porshenga suyuqlikning bosimi faqat bir tomonidan ta'sir qiladi. Porshenning teskari tomoniga harakati prujina ta'sirida amalga oshadi.



3.31 - rasm. Bir harakatli kuch gidrovigateli.

3.31 – rasmida ikki harakatli kuch gidrosilindrining sxemasi keltirilgan. Bunda suyuqlik porshenga ikki tomonidan galmagal ta'sir qiladi. Porshenning shtok tomoniga bir tomonlama harakati vaqtida (silindrning ikkala bo'shlig'ida  $S_{sh} = \frac{S}{2}$  bo'lganda) suyuqlik bir xil bosim ta'sirida bo'ladi. Porshenning ikkinchi tomoniga harakati vaqtida ham bu hol saqlanadi.



3.32 - rasm. Ikki harakatli kuch gidrovigateli

Porshenning silindrning chekka qopqoqlari tomon silliq va zARBASIZ yaqinlashuvi uchun 3 va 4 tirkishlarning diametriga mos 1 va 2 bo'rtmalar o'matilgan bo'lib, ular aytilgan tirkishlarga kirishda hosil bo'lgan zarba siqb chiqarilayotgan suyuqlik hisobiga dempferlanadi. Silindrдagi qolgan suyuqlik 7 va 8 drossellar bilan ta'minlangan 5 va 6 kanallardan chiqib ketadi. Drossellarning o'chamlari porshenning chekka qopqoqlarga yaqinlashish sharoitiga mos ravishda hisoblangan bo'ladi.

### 3.21 - §. Gidrosilindrлarni hisoblash

Bir harakatli silindr porshenining shtokidagi zo‘riqish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$P = p S \eta_{max} \quad (23.1)$$

bunda  $p$  – suyuqlikning bosimi;  $S$  – porshenning bosimni qabul qiladigan yuzasi;  $\eta_{max}$  – zo‘riqma silindrning mexanik FIK (uning qiymatini  $\eta_{max} \approx 0,95$  – deb qabul qilinadi),

Porshen siljishining tezligi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$v = \frac{Q}{S} \eta_0 \quad (23.2)$$

$Q$  – nasosning sarfi;  $\eta_0$  – kuch silindrining hajmiy FIK:  $\eta_0 \approx 0,98$ .

Ikki harakatli gidrosilindrda shtokning mavjudligi hisobga olinganda siljuvchi zo‘riqish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$P = p \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \eta_{rev} \quad (23.3)$$

bunda  $D$  va  $d$  – porshen va shtok diametrlari. Porshenning harakat tezligi quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$v = \frac{10Q}{0,185(D^2 - d^2)} \eta_0 \quad (23.4)$$

### 3.22-§. Burilma gidrosvigatellar

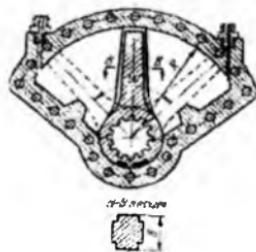
Burilma harakatga asoslangan gidrosilindrлar (kvadrantlar) burilma gidrosvigatellar deb ataladi. 3.33 – rasmida sektor bo‘shlig‘iga ega bo‘lgan burilma harakatli kuch silindrining sxemasi keltirilgan bo‘lib, unda suyuqlik kurakning o‘ng va chap

tomonidan bosim ostida kiritilganda tebranma harakat qiladi. Kurakning burilish burchagi  $120^\circ$  dan oshmaydi.

Parrakning burchak tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega = \frac{Q}{g} = \frac{Q}{IS} \quad (23.5)$$

bu yerda  $Q$  – suyuqlik sarfi;  $I = \frac{R = r}{2}$  – bosim kuchi



3.33 - Burilma gidrosvigateli

teng ta'sir etuvchisining yelkasi.  $S = (R - r)b$  – bir radianga burilishga to'g'ri kelgan so'rish miqdori. Valdag'i burovchi moment quyidagicha aniqlanadi;

$$M = IS\Delta p = \frac{R^2 - r^2}{2} \Delta p \quad (23.6)$$

bunda  $\Delta p$  – kurakning u yoki bu tomonidagi bosimlar farqi. Kvadrantlarda bosim  $100 \text{ kg/sm}^2$  ( $10^7 \text{ n/m}^2$ ) gacha boradi. Burilma harakatni krivoship–shatunli mexanizm yoki tishli reyka va tishli reduktordan oluvchi, ilgarilama–qayta harakatlanuvshi porshen yordamida hosil qilish mumkin.

Pnevmatik kuch silindrлari gidrosilindrdan juda kam farq qiladi va aynan bir xil vazifani bajaradi. Bu mexanizmda siqilgan havoning energiyasidan turli moslamalarda foydalilanadi.

### 3.23 - §. Rotorli gidrovvigatellar va ularning qaytarlik xususiyatlari

Rotorli gidrovvigatellarning tuzilishi porshenli, plastinkali (shiberli), shesternyali, vintli va boshqa nasoslarni o'z ishiga olgan rotorli nasoslar dan farq qilmaydi.

Bu aytilgan gidrovvigatellar va nasoslar qaytarlik xususiyatiga egadir. Boshqacha aytganda, rotorli nasoslarga chiqish qismi orqali bosim ostida suyuqlik kiritilsa, uning rotori harakatga keladi va suyuqlik kirish qismi orqali shiqib ketadi. Natijada nasosdan gidrovvigatel sifatida foydalilanishi mumkin. Xuddi shuning aksidek, rotorli gidrovvigateli elektr dvigatelga ularash yo'li bilan undan nasos sifatida foydalanish mumkin.

Rotorli gidrovvigatellar unumdonligi o'zgaruvchan [ya'ni boshqariladigan so'rishli (sarfl)] yoki o'zgarmas, ya'ni boshqarilmaydigan (so'rishli) bo'lishi mumkin. Bunday mexanizmlarni hisoblash ularda hosil bo'lgan bosim, burovchi moment va valdag'i quvvatni hisoblashga olib keladi.

Quyida eng ko'p tarqalgan rotorli gidromotorlar ustida to'xtalib o'tamiz.

### 3.24 – §. Porshenli , plastinkali, shesternyali va vintli gidrovvigatellar hamda ularni boshqarish. Burovchi moment va valdag'i quvvatni hisoblash.

Rotor – porshenli (porshenli) gidrovvigatellar tuzilishi bo'yicha ikki gruppaga: radial va aksial silindrli gidromotorlarga bo'linadi. Yuqorida aytigandek, bunday gidromotorlar tuzilishi bo'yicha radial va aksial porshenli nasoslardan farq qilmaydi.

Porshenli gidrovgatellarning burovchi momenti  $M_{\varphi}$ -so‘rish bo‘shlig‘idagi porshenlar hosil qilgan momentlarning yig‘indisi sifatida hisoblanadi:

$$M_{\varphi} = \sum_{k=0}^{k=n} m_k \quad (23.7)$$

bu yerda  $m_k$  – bitta porshenning momenti;  $n+1$  – porshenlar soni.

Har bir porshenga ta’sir qilayotgan bosim kuchi quyidagiga teng:

$$P = p \frac{\pi d^2}{4} \quad (23.8)$$

bunda  $p$  – xaydash bo‘shlig‘idagi bosim;  $d$  – porshenning diametri.

$P$  kuchi xaydash bo‘shlig‘idagi barcha poreshenlar uchun bir xil. Uni normal  $P_N$  va tagensial  $P_T$  tashkil yetuvchilarga ajratish mumkin. Normal tashkil etuvchi  $P_N = p \frac{\pi d^2}{4}$  – porshenning sferik qalpoqchasini statorga qisib turadi va kontakt nuqtasi  $S$  dagi ishqalanish kuchini aniqlaydi. Tangensial tashkil etuvchi  $P_T = P t g \beta$  – esa mashina rotorining valida  $r = O_i C$  – yelkali burovchi moment hosil qiladi. Bu moment quyidagicha aniqlanadi:

$$m_k = P_T r_k = P \frac{\pi d^2}{4} r_k \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \quad (23.9)$$

bunda  $r_k = O_i e \cos \varphi + R$ .

$O_i OS$  uchburchakdan  $\sin \beta = \frac{e}{R}$  ning 0,08 – 0,09 ga teng kichik miqdorlarida  $\cos \beta = 1$  bo‘ladi. Bundan ko‘rinadiki:

$$m_k = p \frac{\pi d}{4} r_k \frac{e}{R} \sin \varphi_k \quad (23.10)$$

Bu holda gidrovgatelning momenti ushbuga teng:

$$M_{\varphi} = \frac{\pi d^2}{e} \frac{e}{R} \sum_{k=0}^{k=n} r_k \sin \left( \varphi - \frac{2\pi}{z} k \right) \quad (23.11)$$

Demak, ekstsentrositet qancha katta bo‘lsa, radial porshenli nasosning burovchi momenti ham shuncha katta bo‘ladi. Binobarin, ekstsentrositetni o‘zgartirish yo‘li bilan (bosim o‘zgarmagan holda) burovchi momentni o‘zgartirish mumkin ekan.

Bunday gidrovgatellarning asosiy kamchiligi rotoring inersiya momenti kat-taligi va silindrler qalpoqchalarigacha masofa katta bo‘lganligi sababli, sekin yurarligidir.

Porshenli nasos va gidrosvigatelning birga ishlashini ta'minlovchi qurilma Luf-Tom gidrouzatmasi deb ataladi. Bu gidrouzatmada ish vaqtida uzatish sonini uzlusiz o'zgartirib borish mumkin. Ularda FIK 80% ga teng. Shuningdek, aksial porshenli (2.43-rasmga qarang) gidrosvigatellarni ham hisoblash mumkin. Bunda bir silindrli mashinaning asosiy parametrlarini hisoblashga o'tish mumkin. Plastinkali gidrosvigatellar mavjud hajmiy gidrosvigatellar ichida eng soddasi bo'lib, ular "parrakli" nomi bilan ataladi.

Bunday gidrosvigatellarning momenti quyidagicha hisoblanadi:

$$M = \frac{b}{n} \eta_M \left[ \pi(r_2^2 - r_1^2) - \frac{(r_2 - r_1)^2 \delta}{\cos \alpha} \right] p, \quad (23.12)$$

Bunda  $b$  – rotorning eni;  $r_1, r_2$  – statorning katta va kichik radiuslari;  $\delta$  – plastinkalarining eni;  $z$  – plastinkalar soni;  $\alpha$  – plastinkalar qiyalik burchagi.

Plastinkalar radial joylashganda so'nggi formula soddalashadi:

$$M = \frac{b}{n} \eta_M [\pi(r_2^2 - r_1^2) - (z_2 - r_1) z \delta] p. \quad (23.13)$$

Yaxshi loyihalangan plastinkali mashinalarning FIK yuqori bo'lib, buning uchun uning qismlari juda aniq ishlangan bo'lishi kerak. Plastinkali mashinalar asosida boshqariluvchi nasosga va reversli gidrosvigatellar asosida yetaklovchi valdan yetaklavuvchi valga mexanik energiya va burovchi momentni o'tkazuvchi gidrouzatmalar mavjud.

Agar shesternyali nasosning so'rish bo'limshasiga bosim ostida moy berilib, haydash bo'limchasidan chiqarib yuborilsa, u gidrosvigatel bo'lib ishlaydi. Tishlardagi bosim burovchi moment hosil qiladi va u quyidagicha hisoblanadi:

$$M_T = \Delta p b(m^2 z + m^2 l^2), \quad (23.14)$$

bunda  $\Delta p$  – tishlarning ikki tomonidagi bosimlar farqi;  $b$  – tishlarning eni;  $m$  – tishlarning uzunligi;  $z$  – tishlar soni;  $l$  – tutashish chizig'ining yarim uzunligi.

Rotorli gidrosvigatellar validagi quvvatning burovchi moment bilan bog'lanishi quyidagicha ifodalanadi;

$$M_T = 71620 \frac{N_1}{n}; (M_T)_u = \frac{N}{\omega} N m \quad (23.15)$$

$$N_1 = \frac{P Q_1}{4510^4} o.k; (N_T)_u = Q_1 (p_r - p_c) V t \quad (23.16)$$

bunda  $Q_T$  – hisoblangan sarf;  $\omega$  – burchak tezligi. Ta'sir etuvchi burovchi moment va gidrosvigateldan olinayotgan qvvat quyidagicha hisoblanadi:

$$M = M_T \eta_M; \quad N = N_T \eta_m \quad (23.17)$$

Mexanik FIK  $\eta_m$  nasos uchun qancha bo'lsa, gidrosvigatel uchun ham shuncha bo'ladi. vintli gidrosvigatellar ham nasosdan qaytarma foydalanishga asoslangan. Bunday gidrosvigatellar bug' va gidravlik turbinalarning boshqarish gidrosistemalarida va hajmiy gidrouzatmalarda qo'llaniladi. Vintli gidrosvigatellarning burovchi momenti va uzatayotgan qvvati (23.14) va (23.15) formulalar yordamida hisoblanadi.

### 3.25 – §. Yuqori momentli gidromotorlar

Yuqori momentli gidromotorlar tuzilishi turlicha bo'lishi mumkin. Gidrosvigatellarni yuqori momentliga aylantirish uchun turli usullardan foydalilanadi.

Masalan, porshenli gidrosvigateli yuqori momentliga aylantirish uchun uning o'lchamlarini, porshenning yo'li va diametrini o'zgartirmagan holda unumdorligini oshirish zarur bo'ladi. buning uchun ko'pkarrali ishslash prinsipi foydalilanadi. Rotor va stator umumiyoq qo'sha ega bo'ladi. Stator to'lqinsimon halqadan iborat bo'lib, har bir aylanishida porshen  $i_s$  – marta ( $i_s$  – halqadagi to'lqinlar soni) yo'l o'tadi. Rotoring podshipnikka radial bosim kuchini yo'qotish uchun statordagi to'lqinlar sonini toq qilib olinadi. Bu holda unumdorlik

$$Q = f_n S i i_s, \quad (23.17)$$

momet esa

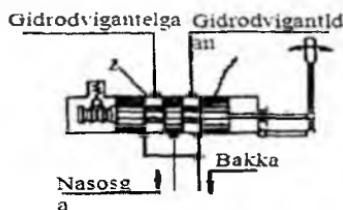
$$M = f_n S i i_s \frac{P}{2\pi} \quad (23.18)$$

formula bilan aniqlanadi. Bunday mashinalarda aylanuvchi rotor (silindrlar bloki) silindrlar bo'shilg'ini galma-galdan haydovchi va so'ruvchi sohalar bilan tutashtirib boradi. Porshenlar esa statorga roliklar yordamida tayanadi.

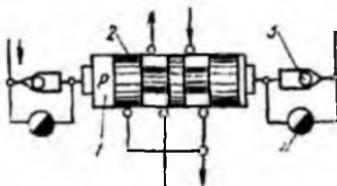
## XXIV b o b. GIDROAPPARATURA VA GIDROUZATMANING BOSHQA ELEMENTLARI

### 3.26-§. Taqsimlagich qurilmalar, ularning vazifalari, guruhlanishi, ishlash prinsipi va asosiy turlari

Taqsimlagich qurilmalar gidrouzatmaning asosiy elementlari va qismlari orasida suyuqlik oqimlarini taqsimlash va yo‘nalishini o‘zgartirish uchun xizmat qiladi. Konstruktiv tuzilishi bo‘yicha taqsimlagishlar zolotnikli, kranli va klapanli turlarga ajraladi. Ularning belgilangan holatlariga qarab, ikki, uch va ko‘p holatlari taqsimlagichlar bo‘ladi. hajmiy gidrouzatmalarda eng ko‘p qo‘llaniladigan zolotnikli taqsimlagichlardir.



3.34 - rasm. Zolotnikli  
taqsimlagichlar



3.35 - rasm. Reversiv zolotnikli G-72  
turdagi taqsimlagich

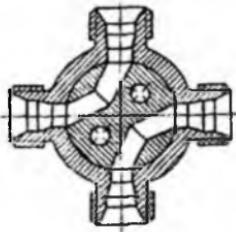
Zolotniklar hidroapparatlarning boshqari-luvchi elementi bo‘lib, uning yordamida suyuqlikning taqsimlanish, harakatni reverslash va bir trubadan ikkinchisiga o‘tkazish ishlari amalga oshiriladi. Zolotnikning harakatlanuvchi qismi (3.34-rasm) suyuqlik o‘tishi 1 uchun yo‘lakchalari bo‘lgan plunjер 1 va suyuqlikni kiritish hamda chiqarish uchun teshiklari bo‘gan silindr 2 dan iborat. Gidrouzatma ishlash vaqtida zolotnikning korpusi 2 ga nisbatan plunjер 1 ni siljitim yo‘li bilan zolotnikli juftning tegishli ish tuynugini berkitiladi, natijada suyuqlikning mexanizmi yordamida yoki elekromagnit va hidravlik usul bilan boshqarilishi mumkin.

3.35-rasmida G-72 tipli hidravlik boshqariluvchi reversiv zolotnikning sxemasi keltirilgan. U korpus 1, plunjер 2, sharli klapa 3 va drossel 4 dan tashkil topgan.

Zolotnikning plunjeri 2 gidrosvigatelning ikki yo‘nalishiga tegishli ikkita chekka (o‘ng va chap) holatlarni qabul qilishi mumkin. Plunjer 2 ni bir holatdan ikkinchisiga o‘tishi plunjerning ikki tomoniga ta’sir qiluvchi bosim p yordamida amalga oshiradi.

Kranli taqsimlagichlar (3.36-rasm) tuzilishining soddaligi sababli keng tarqalgan. Ammo ularni burash uchun kattagina moment zarur bo‘ladi.

Bu momentni kichraytirish uchun moslamalar qo‘llash taqsimlagichning tuzilishini murakkablashtirib yuboradi.



3.36-rasm. Kranli taqsimlagich

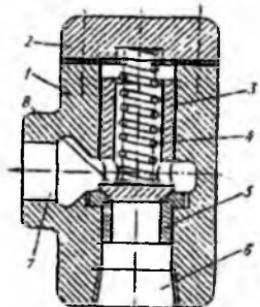
Klapanli taqsimlagichlar kichik sarflarda ishlay olishi, katta bosimlarda ham yaxshi germetiklanganligi, ixchamligi va boshqarishning osonligi bilan zolotniklardan ustunlik qiladi. Shunday qilib, germetiklik hal qiluvchi ahamiyatga ega bo‘lmasa va sarf katta bo‘lsa, zolotnikli taqsimlagichlardan foydalanish ma’qul.

Moy sarfi kichik gidrouzatmalarda, germetiklik muhim bo‘lgani uchun, klapanli taqsimlagichlar qo‘llaniladi.

### 3.27-§. Klapanlar. Ishlash prinsipi, tuzilishi va xarakteristikalari.

Klapan – gidrouzatmaning eng ko‘p tarqalgan elementidir. Ular yordamida gidrouzatma qismlarining galma-gal ishlashi, ularni ehtiyoj qilish, oqim yo‘nalishini o‘zgartirish, kerakli bosim hosil qilish, oqimni qismlarga bo‘lish va boshqa ishlar bajariladi.

Klapanlar uch gruppaga ajraladi: tirkak, saqlagich va reduksion klapanlar.

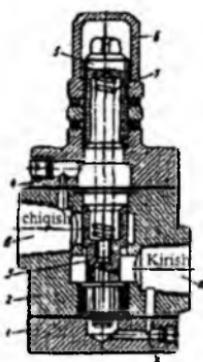


3.37 - trasm. G-51 turdag'i tirkak klapan

*Tirkak klapanlar* suyuqlikni faqat bir yo‘nalishda o‘tkazish uchun mo‘ljallangan. Suyuqlikning yo‘nalishi o‘zgarishi bilan tirkak klapan yopilib, suyuqlik o‘tkazilishi to‘xtaydi. Ochiq holda bu klapanlar eng kam qarshilikka ega bo‘lishi, yopiq holda esa zarur germetiklikni ta’minlashi kerak. Shuning uchun tirkak klapan prujinasining zo‘riqishi eng kam bo‘lib, klapanning egarga ishonchli o‘rnashushi uchungina yetarli bo‘lishi kerak, chunki klapan suyuqlikning bosim kuchi yordamida ochilip yopiladi.

3.37 – rasmda G-51 turdag'i plunjерli tırgak klapan tasvirlangan bo'lib, u korpus 1, qopqoq 2, plunjер 3, prujina 4, va egar 5 dan iborat. Plunjер 3 o'zining konus uchi egar 5 ga taqalgan bo'lib, uning silindrik yon sirti korpusning yo'naltiruvchi teshigiga kirib turadi. Klapan ishlaganida teshik 6 ga keltirilgan suyuqlik plunjerni egardan ko'taradi va teshik 7 ga yo'l ochadi. Oqimning yo'naliishi o'zgarishi bilan suyuqlik bosimi ta'sirida plunjер 3 egar 5 ga zichlanadi. Moy plunjер 3 ning teshigi 8 orqali klapan ustidagi bo'shilqqa o'tgani sababli, bu bosim klapanning kesimi bo'yicha tarqaladi. Bosim ortishi bilan plunjerni egarga siquvchi kuch ortib, suyuqlikning teskari yo'naliishida oqishi to'xtaydi. Prujina 4 plunjerning korpusga ishqalanish kuchini yengish uchungina xizmat qiladi.

*Saqlagich klapanlarning* tırgak klapandan farqi, undagi prujinaning qattiqroq siqish kuchiga egaligidir. Bunday klapanlarning ishlashi suyuqlik bosim kuchini prujina kuchi yoki suyuqlikning teskari bosimi bilan muvozanatlashga asoslangan. Gidrouzatmani juda yuqori bosimlardan ehtiyoj qilish uchun bosim belgilangan chegara qiymatidan oshib ketganda oshiladigan saqlagich klapanlar ishlatiladi. To'g'ri harakatlil saqlagich klapanlar sharikli, konusli va plunjерli bo'ladi. eng sodda saqlagich klapanlar sharikli bo'ladi. Bu klapanning qo'llanish sohasi cheklangan bo'lib, gidrosistemada bosim kichik va sarf kam bo'lganida qo'llaniladi. Sharik va egarni o'zaro qattiq zinchash mumkin bo'limgani sababli yopiq holda ham sharikli klapandan suyuqlik oqib o'tadi.



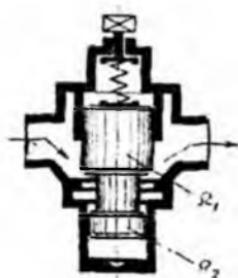
3.38 - rasmda G-54 turdag'i plunjерli klapan

Bundan tashqari, sharik suyuqlikni qo'yib yuborganda tebranma harakat qilib, davriy ravishda egarga uriladi. Sharikni konus bilan almashtirib, konusli saqlagich klapan olinadi. Bunday klapanning germetikligini ta'minlashning asosiy sharti – klapan konus va silindr qismining hamda konusning yo'naltiruvchi silindri va konus egarining bir o'qliligi qat'iy bajarilgan bo'lishi kerak. Aks holda konusli klapanning germetikligi tezda buziladi.

Gidrouzatmalarda plunjерli klapanlar ko'p tarqalgandir.

Plunjерli klapanlar gidrouzatmalarni ortiqsha zo'r iqishdan ehtiyojlash, shuningdek, ma'lum bir o'zgarmas bosimni saqlash uchun qo'llaniladi, ya'ni sistemaga ulash va moslashga bog'liq ravishda bir klapanning o'zi saqlagish, quyuvshi yoki bosimni ta'minlagish sifatida

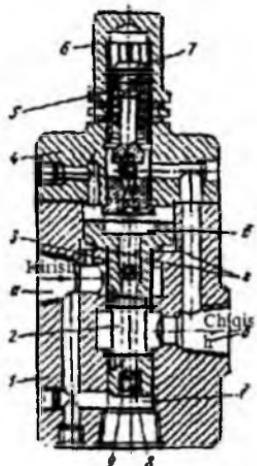
ishlatilishi mumkin. 3.38 – rasmida G-54 plunjерli klappingning kesmasi ko'rsatilgan. U korpus 2, ostki qopqoq 1, ustki qopqoq 4, plunjер 3, boshqaruvchi vint 5 va prujina 7 dan iborat. Prujina 7 plunjер 3 ni chekka holatiga surib, nasos bilan tutashgan  $\alpha$  bo'lma bilan, quyish liniyasi bilan tutashgan  $\nu$  bo'lmani ajratadi. Shu bilan birga kalibrangan teshik 8 orqali bosim plunjerning pastki chekkasiga beriladi. Sistemada bosim ortib, prujina 7 ning kuchini engadigan darajaga etganida plunjер 3 yuqoriga suriladi. Natijada  $\alpha$  va  $\nu$  bo'lmlari tutashib, suyuqlik quyishga o'tkazib yuboriladi. Klappingning ishini barqarorlashtirish uchun, ya'ni prujina tebranishini dempferlash uchun kalibrangan teshik 8 mo'ljallangan. Klappni kerakli bosimga moslash vinti 5 yordamida, prujina 7 dagi zo'riqishni o'zgartirish yo'li bilan bajariladi.



3.39 - rasm. Differensial klapan

Suyuqlikning katta bosimlarida prujinaning zo'riqish kuchi oshirilishi zarur. Katta kuchli prujinalar erkin tebranish chastotasini kamaytirishdan qutulish uchun differensial klapanlarda qo'llaniladi.

Differensial klapanlarda plunjerga ta'sir qilayotgan suyuqlikning bosim kuchi ish yuzasi  $\Omega_1$  – va plunjerning muvozanatlovchi yuzasi  $\Omega_2$  – hisobiga gidravlik muvozanatlashadi (3.39-rasm).



3.40 - rasm. G-52 turdag'i servoharakatli klapan

Dempferlovchi qurilmalar qo'llanilishiga qaramay klappingning plunjeri tebranma harakat qilib, sistemadagi bosimning davriy o'zgarishiga sabab bo'ladi. Bu kamchilik barcha to'g'ri harakatli klapanlar qo'llaniladi. Ular sistemaga ma'lum bir tartibda ulanganida va prujina tegishlichcha moslanganda quyuvchi bo'lib ham, bosimni ta'minlovchi bo'lib ham ishlatilishi mumkin. Bundan tashqari asosiy dempferli plunjerli klapan 2 bilan sharikli servoklapan 4 ning birgalikda ishlashiga asoslangan murakkab klapanlar ishlatiladi.

3.40 – rasmida G-52 turdag'i servoklapanlarning tuzilishi keltirilgan. Klapan quyidagi qismlardan

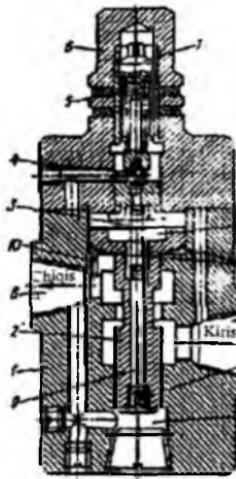
iborat: korpus 1, plunjер 2, prujina 3,5, servoklapan 4 va qopqoq 6. Ish suyuqligi nasosdan *a* bo'shliqqa orqali olib ketiladi. Plunjер 2 kuchsiz prujina 3 yordamida quyi holatda ushlab turiladi. Plunjер 2 ning markaziy teshigiga dempfer 8 (kishik dempferning kalibrangan teshigi) buralgan bo'lib, uning yordamida bo'lma *b* bo'lma *a* bilan doim tutashgan bo'ladi. Bundan tashqari, bo'lma *a* bo'lma 2 bilan ham tutashgan. Markaziy teshik 9 orqali suyuqlik bo'lma *d* dan bo'lma *b* ga va sharik 4 ostiga keltiriladi. Sharik 4 egarga prujina 5 yordamida siqib qo'yiladi. Prujinaning siqish kuchi vint 7 yordamida boshqariladi. Suyuqlikning sharik 4 ga ta'sir qiluvchi bosim kuchi prujina 5 moslangan zo'riqish kuchidan ortib ketguncha sharik egarga siqilib turadi va bo'lma *b* dagi bosim sistemadagi bosimga teng bo'ladi. Bunda bo'shliq tomonidan plunjер 2 ga bo'lgan bosim kuchi *d* va *g* bo'shliqlari tomonidan bo'lgan bosim kushi bilan muvozanatda bo'lGAN uchun plunjер, prujina 3 ta'sirida quyi holatda saqlanadi. Plunjerning bu holatida *a* va *v* bo'shliqlar ajratilganligi sababli suyuqlikning sistemadan bakka o'tish yo'li berkilgan bo'ladi.

Suyuqlikning bosim kuchi prujina 5 ning kuchini yengishi bilan sharik 4 o'z egaridan ajraladi va suyuqlikning ozgina miqdori sharikli klapan orqali *b* bo'lmanan *v* bo'lma *a* va undan quyilishga o'tadi. Bo'linma *d* dan suyuqlik dempfer 8 orqali bo'linma *b* ga o'tadi. Dempfer 8 ning kalibrangan teshigi bosimning suyuqlik oqqanida yuzaga keladigan pasayishini ko'rsatuvchi qarshilik hosil qiladi. Shuning uchun bo'lma *b* dagi bosim *a* va *d* bo'lmalardagiga qaraganda dempferda bosimning yo'qolishiga teng miqdorda kamayadi. Hosil bo'lgan bosimlar farqi natijasida muvozanat buzilib, *d* va *g* bo'lmalardagi yuqori bosim ta'sirida plunjер yuqoriga ko'tariladi. Plunjер ko'tarilishi bilan *a* va *v* bo'shliqlar tutashib, suyuqlik bosim ostida *a* bo'shliqdan *v* bo'shliqqa o'tadi va so'ngra bakka quyiladi. Plunjerning ko'tarilishi muvozanat boshlanguncha, ya'ni *d* va *g* bo'lmalardagi bosimlar yig'indisi prujina zo'riqishi va bo'lma *b* dagi suyuqlik bosim kuchlari yig'indisiga tenglashguncha davom etadi.

Plunjер muvozanatlashganidan so'ng *a* bo'shliqdagi suyuqlik bosimi o'zgarma saqlanadi, oz miqdorda suyuqlik dempfer va ochiq shar servoklapan orqali *a* bo'shliqdan *v* bo'shliqqa oqib turadi.

Agar *a* bo'shliqdagi bosim biror sababga ko'ra orta boshlasa, *d* va *g* bo'lmalardan plunjerga bosim ortib, kuchlar muvozanati buziladi. Plunjер ko'tariladi. Korpus va plunjер cheti orasidagi tirkishning kesimi ortadi. Bu esa *v* bo'shliqda

suyuqlik oqimining ortishi va  $a$  bo'shliqda bosimning kamayishiga olib keladi. Yana muvozanat holati tiklanguncha bosim kamayishda davom etadi. Bo'lma  $a$  da bosim kamaysa, prujina 5 shar servoklapanni berkitib,  $b$  bo'shliqdan suyuqlik oqishini to'xtatadi, so'ngra  $b$ ,  $g$ ,  $d$  bo'lmalarda bosim to'g'rilanib, prujina 3 plunjer 2 ni bo'shatadi va klapan berkiladi. Klapanni boshqarish, vint 7yordamida, prujina 5 da zo'riqishni o'zgartirish yo'li bilan bajariladi. G-52 turdag'i klapan yuqori sezgirlik, tebranishsiz va shovqinsiz barqaror ishlashi bilan farq qiladi, chunki dempfer siqilgan prujina energiyasini yutib, plunjer harakatini tormozlaydi. Saqlagich klapanlar ishini ko'rib, ular moslangan bosimda yopilib, klapandan chiqishda yuqori bosim bo'lganda ochiladigan to'g'ri harakatlari klapanlardir degan xulosaga kelish mumkin.



3.41 - rasm. G-53 turdag'i servoharakatlari reduksion klapani

Bosimni kamaytirish uchun *reduksion klapanlar* ishlataladi. Bularning saqlagich klapanlardan farqi ulardan chiqishdagi bosim boshqaruvchi ta'siriga egaligidir, ya'ni bu klapanlar chiqishdagi bosim o'zgarganda ishlaydi. Reduksion klapan ishlaguncha uning plunjерини prujina ochiq holatda tutib turadi. Reduksion klapandan chiqishda bosim belgilangan qiymatdan ortib ketsa, suyuqlikning bosim kuchi klapan prujinasini siqadi va plunjer suyuqlikning klapandan o'tishini qiyinlashtirib, berkilish tomoniga siljiydi. Plunjerning bu harakati klapandan chiqishda bosim kerakli miqdorga pasaygunicha davom etadi.

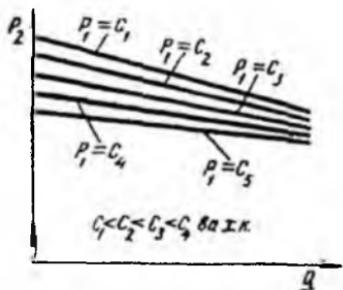
3.41 – rasmida G-53 turdag'i servoharakatlari reduksion klapan ko'rsatilgan. U nasos hosil qilgan

bosimdan past bosimni reduksiyalash va ushlab turish uchun xizmat qiladi. Klapan korpus 1, plunjer 2,3 va 5 prujinalar, sharservoklapani 4 va qopqoq 6 dan tashkil topgan. Ish suyuqligi  $a$  bo'shliqdan berilib,  $v$  bo'lmaidan chiqariladi. Plunjerni kuchsiz prujina 3 quyi holatda ushlab turadi.

Markaziy teshikka dempfer 8 kiritilgan bo'lib, u orqali  $v$  bo'lma  $b$  bo'lma bilan doim tutashgan bo'ladi. bo'lma  $g$  bo'lma  $v$  bilan dempfer 10 orqali tutashadi. Sharcha 4 prujina 5 bilan egarga siqib turiladi. Prujina 5 ning siqish kuchi vint 7 yordamida boshqarilishi mumkin. Sharcha 4 ga ta'sir qiluvchi suyuqlik bosimi prujina 5 moslangan

kuch miqdoridan ortib ketguncha sharcha 4 egarga siqib turiladi. Bunda plunjер 2 prujina 3 ta'sirida quyi holatda bo'lganda  $a$  va  $v$  bo'shliqlar tutash bo'lib, suyuqlik klapandan bemalol oqib turadi va  $v$  bo'shliqdagi bosim nasos hosil qilgan bosimga teng bo'ladi. Klapandan chiqishdagi bosim kuchi prujina 5 ning kuchidan ortishi bilan sharli klapan 4 ochilib, moy  $d$  bo'lmasdan dempfer 8 orqali 6 bo'lma maga o'tadi, so'ngra sharli klapan 8 orqali quyilishga ketadi. Dempfer 8 ning teshigi orqali suyuqlik oqib turganida bosim pasayadi, shuning uchun  $b$  bo'lmasdagagi bosim  $d$  va  $g$  bo'lmalardagiga qaraganda (dempfer 8 dagi bosimning kamayish miqdoricha) kam bo'ladi. Natijada plunjер 2 ko'tariladi.

Plunjер yuqoriga ko'tarilishi bilan suyuqliknинг  $a$  bo'shliqdan  $v$  kameraga o'tishi shini qiyinlashtiradi natijada  $a$  bo'shliqdagi bosim  $v$  bo'shliqdagidan ortadi,  $g$  va  $d$  bo'lmalardagi bosim 8 bo'lmasdagagi bosim prujinasi 3 ning kuchidan ortib, plunjerning muvozanat holati boshlanadi.



3.42 - rasm. Redukcion  
klapan xarakteristikasi

Agar  $v$  bo'lmasdagagi bosim biror sababga ko'ra pasaysa, plunjер 2 ga ta'sir qiluvchi kuchlar muvozanati buziladi, chunki  $v$  bo'lma bilan tutashgan  $g$  va  $d$  bo'lmlari tomonidan plunjerga bo'lgan bosim kuchi kamayadi. Prujina 3 plunjер 2 ni pastga siqib, plunjernarning chekkasi va korpus orasidagi tirqish yuzasini oshiradi, natijada  $v$  kameraga suyuqlik oqimi ortadi va muvozanat yana tiklanguncha bosim ortib boradi. Shunday qilib, G-57 klapanni nasosning kuch magistraldagi bosimdan kichik bosimni doimiy ushlab turadi.

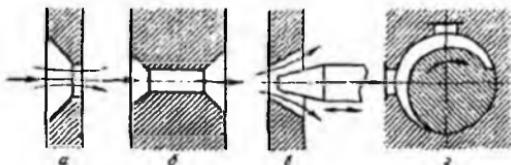
Reduksion klapan xarakteristikasining ko'rinishi 3.42-rasmida tasvirlangan.

Rasmdan ko'rindiki, sarf ortganda reduktorga kirishdagi bosim qancha kichik bo'lsa, bosimning pasayish darajasi shuncha yuqori bo'ladi.

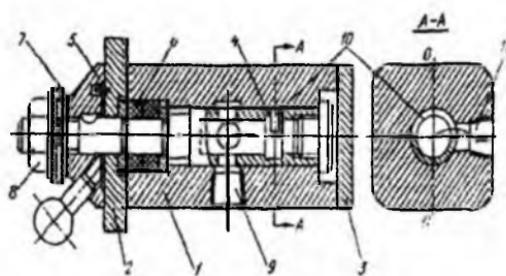
### 3.28-§. Drossel qurilmalarning vazifasi, ishlash prinsipi va xarakteristikasi.

Gidrouzatmalarda drossel qurilmalar suyuqlik sarfini chegaralash va boshqarishi uchun qo'llaniladi hamda gidravlik qarshilik ko'rinishida bo'ladi. Boshqarilmaydigan gidravlik qarshilik yoki gidravlik dempferlar va boshqariluvchi gidravlik qarshiliklar

(drossellar) drossel qurilmalar bo‘lishi mumkin. Gidravlik demperlardan gidroapparatlarning turli elementlari hamda qurilmalarida suyuqlikni turli tebranma va boshqacha beqaror harakatlari holida tormozlovchi (drossellovchi), ya’ni gidrouzatma apparatlari va mexanizmlarini barqarorlovchi sifatida foydaliladi. Drossellar (3.43 rasm) suyuqlik sarfini o’tkazish kesimini o’zgartirish yo‘li bilan boshqarishga mo‘ljallangan. Gidrouzatmalarni drosselli boshqarish kichik quvvatli gidrodvigatellar tezligini boshqarishning eng ko‘p tarqalgan turlaridan biridir.

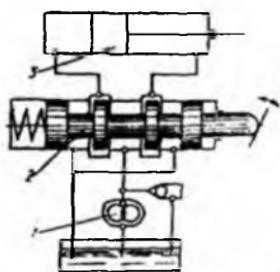


3.43 - rasm. Drossellar



3.44 - rasm. G-77 turidagi boshqariladigan drossel qurilmasi

1,



3.45 - rasm. Zolotnikov boshqariluvchi drossel qurilmasi

Suyuqlik drossel tirkishidan o’tganda uning energiyasining bir qismi tirkish qarshiligini yengishga sarf bo‘ladi, natijada gidrodvigatelning tezligi kamayadi. Drosselli boshqarishda berilayotgan energiya gidrodvigateli berilgan tezlikda harakat qildirishga sarf bo‘ladigan energiyadan ortiq bo‘ladi. Boshqariladigan tirkishining shakliga qarab drossellar tirkishli va ariqchali bo‘ladi (3.43 – rasm, v, g)

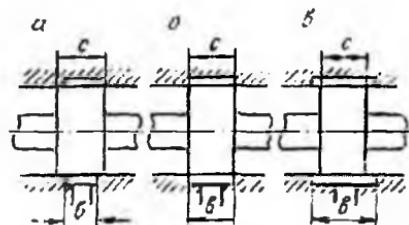
3.44 – rasmida G-77 turidagi drossel ko‘rsatilgan bo‘lib, u korpus

oldingi qopqoq 2, orqa qopqoq 3, drossel 4, limba 5, tig‘izlagich 6, shkala 7, gayka 8 dan iborat. Drosselga suyuqlik teshik 9 orqali kelib, tirkish 10 dan o‘tib, 11 teshikdan chiqib ketadi.

Drossel 4 tirkishining 0-0 o‘qiga nisbatan hosil qilgan burchagiga qarab tirkishning o’tkazuvchi kesimi o’zgaradi, natijada drosseldan o‘tuvchi suyuqlikning sarfi yo

ortadi, yo kamayadi. Drossel moslanganda gayka 8 drossel 4 ning bermalol buralishi uchun chekkaga siqiladi. Keraklicha moslangan va barqarorlangan tirkish kesimi limba 5 ga siqib qo'yiluvchi gayka 8 bilan mahkamlanadi.

Drossel qurilmalar sifatida ish tuynugi kesimini o'zgartirish hisobiga trubalardagi suyuqlik tezligini o'zgartirishga imkon beruvchi maxsus zolotnikli (3.45 – rasm) boshqaruvchi drossellar ham ishlataladi.



3.46 - rasm. Zolotnik belbog'ning tuynuk enini berkitishi sxemasi

Ideal boshqaruvchi zolotnikda plunjер belbog'chasining eni drossellovchi tuynuk eniga teng bo'lishi kerak. Ammo amalda sezgirlikni oshirish ushun zolotnik suyuqlikni o'tkazuvshi qilib quriladi (3.46-rasm, v). Bunday zolotniklar belbog'inинг eni tuynuk enidan bir necha mikronga kichik bo'ladi. Bir nesha mikronli ko'p yopuvchi zolotniklar ham qo'llaniladi. Ko'p yopuvchi zolotniklarda (3.46 – rasm, a) neytral holatda, suyuqlikni qo'yib yuborish ancha kamayadi, lekin sezgirmaslik zonasasi kattalashadi.

### 3.29-§. Filtrlar

Filtrlar moylarni ifloslanishdan saqlash va turli aralashmalardan tozalash uchun qo'llaniladi. Gidrouzatmalarda, odatda, havo va moy filtrlari o'rnatiladi.

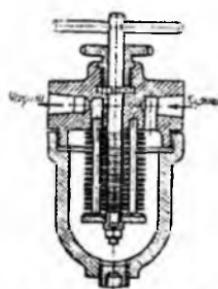
Havo filtri moyni atmosferadan chang tushishidan saqlaydi, moy filtri esa moyga ish qismlarning sirtidan tushgan changsimon zarrachalardan tozalaydi. Moy filtri, odatda, sistemaning zarrachalardan tozalaydi. Moy filtri, odatda, sistemaning bosim chizig'ida o'rnatiladi, chunki filtr so'rish chizig'iga qo'yilsa, gidravlik bosimni oshirib yuboradi.

Gidrouzatma sistemasida kesimi millimetrlning ulushlariga teng, suyuqlik o'tuvchi ariqchasi bo'lgan qurilmalar ko'p. Bunday tor yo'lakchalarda obliterationsi hodisisi

sodir bo'ladi va gidravlik qarshilik ortadi. Agar suyuqlikda aralashmalar bo'lsa, u yo'lakchalarining ifloslanishiga olib keladi hamda qattiq zarralar moy bilan birga nisbiy harakatlanuvchi sirtlar orasidagi tor bo'shliqqa (masalan shtok bilan silindr orasidagi o'lchami 4-6 mkm bo'lgan oraliqqa) tushib, tekislangan sirtning buzilishiga olib keladi va sistemaning ishini yomonlashtiradi. Shunday qilib, ish suyuqligi tashqaridan tushgan aralashmalar (metall zarralar va moyning oksidlanish mahsuli) bilan ifloslangan bo'ladi.

Moyni ifloslovchi zarralar juda mayda bo'lib, 10 mikrondan oshmaydi, shuning uchun ular sistemada moy harakatlanganda cho'kmaydi, balki faqat cho'ktirgichlarda stoks qonuni bo'yicha cho'kadi. Suyuqlikda saralashmalarning miqdori GOST 6370-59 bo'yicha 0,005% dan oshmasligi kerak, bundan ortig'ini yo'qotish uchun filtrlardan foydalaniladi.

Havo filtrlari silindr shaklida o'ralgan av 1 sm yuzada 1000 ta teshik bo'lgan to'rdan iborat. To'r sirtiga moy qatlami chaplangan bo'lib, chang zarralari unga o'tirib qoladi. Filtrning ishlash vaqtini mashina ishlayotgan joydagি atmosferaning ifloslik darajasiga bog'liq. Filtrni tozalash, odatda, har mavsumda amalga oshiriladi, masalan, qishdan yozga o'tishda yoki aksincha.



3.47 - rasm. Plastinkali

sodda filtr

3.47-rasmida plastinkasimon sodda filtr tasvirlangan. Keyingi vaqtarda tegishli metall sharlaridan tayyorlangan metall-keramik filtrlar ishlatilmoqda. Sharlarning kattaligi va materialini tanlash suyuqlikning ximiyaviy xossalari, mo'ljalangan ifloslik holati, issiqlik hamda bosimga bog'liqdir. Bunday filtrlardan o'tuvchi zarralarning eng katta diametri quyidagi formula yordamida hisoblanadi.

$$d = 0,155D,$$

bu yerda D – filtrdagи sharlarning diametri.

Bunday filtrlar kattaligi 0,5 mkm bo'lgan zarralarni tutib qola oladi.

Filtr g'ovaklarining o'lchami kichik bo'lgani uchun ularning gidravlik qarshiligi bosim farqiga chiziqli bog'liq bo'ladi, qarshilik koefisienti esa  $Re$  soniga teskari proporsional bo'ladi.

### 3.30-§. Gidroakkumulyatorlar

Bunday qurilmalar to‘g‘risida ...-§ da to‘liq yozilgan. Gidrouzatmaning yaxshi ishlashi uchun gidrovvigatelning eng katta sarfiga mos nasos yoki gidroakkumulyator tanlash zarur. Yuqori unumdorlikka ega bo‘lgan nasosni qo‘llash qisqa vaqt oralig‘ida o‘rinli bo‘lib, qolgan vaqtida ortiqcha suyuqlik quyish bakiga chiqarib yuborilishi kerak. Agar nasosning so‘rishi (sarfi) gidrosistema sarfidan ortiq bo‘lsa, suyuqlik bosim ostida gidroakkumulyatorga to‘planadi, agar sarf kamaysa, akkumulyator to‘plagan suyuqligini sistemaga qaytarib beradi. Gidroakkumulyatorni qo‘llash nasos FIK ni oshirish, nasos hosil qilgan bosim pulsasiyasini yo‘qotib, gidrovvigatelning tekis ishslashini ta‘minlash uchun zarur. Gidroakkumulyatorlar pnevmatik, yukli va prujinali bo‘lishi mumkin. Pnevmatik gidroakkumulyatorlar eng ko‘p tarqalgan (1.20 – rasmga, q.).

Nasos ta‘minlay olmaydigan yuqori bosim olish uchun gidromultiplikatorlar qo‘llaniladi (1.21-rasmga q.). Katta diametrlri silindrda suyuqlik bosim ostida berilganda kichik diametrlri silindrda plunjerning harakati natijasida yuzalar nisbatiga teng miqdorda kattalashgan bosim olish mumkin. Bu bosimning nazariy qiymati quyidagicha hisoblanadi:

$$P_2 = P_1 \frac{D^2}{d^2},$$

bu yerda  $P_1$  — katta silindrda (nasos hosil qilgan) bosim;  $D$  — katta silindr diametri;  $d$  — kichik silindr diametri. ....da bosimni hisoblashning amaliy formulasi (2.27) berilgan. Multiplikatorlar nasos bilan yuqori bosim hosil qilish kerak bo‘lgan qism orasiga o‘rnataladi.

### 3.31-§. Gidrochiziqlar

Gidrochiziqlarni loyihalashda ularni gidravlik zarbadan saqlash masalasi muhim o‘rin oladi. Buning uchun nasoslar, gidromotorlar boshqaruvchi va saqlagich qurilmalar ish tartibini kuch trubalari va bo‘shatuvchi trubalarga moslash kerak. Shuni aytish kerakki, noto‘g‘ri hisoblangan va loyihalangan (yoki qurilgan) gidrosistema qattiq shovqin manbai bo‘lib, kishilar sog‘lig‘iga salbiy ta’sir qiladi. Ko‘p hollarda keskin shovqin gidrosistemada kamchilik borligining belgisidir. Shovqinning sabablari kavitaliya, gidravlik zarba, havoning biror yerda tutilib qolishi va ilgarilama-qaytma harakat qiluvchi qismlarda massaning notekis taqsimlanishidan iborat bo‘lishi mumkin. Shovqinni yo‘qotishning asosiy yo‘li yuqorida

aytilgan kamchiliklarni yo'qotishdan iborat. Yo'qotib bo'lmaydigan shovqinlar faqat gidrosistemani kam tovush o'tkazuvchi materiallar bilan o'rالган inshootlarda joylashtirish yo'li bilan yo'qotiladi yoki kamaytiriladi.

Sodda bir harakatlil silindrli gidrouzatma bakning hajmi  $V_b = (5 + 6)V_s n$  — ga teng qilib olinadi. Aslida bakning hajmi gidrosistemaning suyuqlik sig'dira olishi, gidroakkumulyatorlarni to'ldirish va bo'shatishni, boshqa sig'implarni ham to'ldirish va bo'shatishni, suyuqlik hajmining temperatura ta'sirida o'zgarishini nazarda tutgan holda hisoblanadi. Yuz berishi mumkin bo'lgan oqib ketishlarning o'mini to'latish uchun zapas hajm nazarda tutilgan bo'lishi kerak (bakning havoli hajmi uchun 10-1-15% qo'shiladi).

Baklar kavsharlab, parshin mixlab tayyorlangan, ichki sovitgichli, qopqog'ida biror yordamchi qurilma o'rnatilgan bo'lishi mumkin. Bakning ichida qabul qiluvchi va quyuvchi qismlarini ajratuvchi to'siq bo'lib, tindirishni osonlashtiradi. Bakning tubida drenaj teshiklari bo'lishi mumkin.

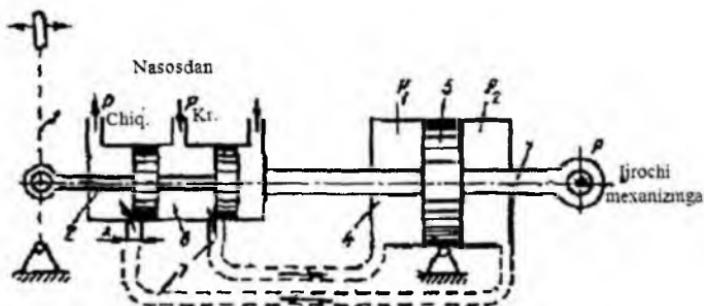
Ish sharoitiga qarab qattiq va egiluvchan trubalar qo'llaniladi. Ko'pincha choksiz po'lat trubalar, ba'zan alyuminiy va cho'yan qotishmali trubalar qo'llaniladi. Trubalarning tugunlar va bo'laklarga tutashgan qismlari mustahkam va germetik bo'lishi zarur. Hozirgi zamon gidrouzatmalarida plastmassa va shisha tolalardan tayyorlangan trubalar ham ishlataladi.

### 3.32-§. Vazifasi, qo'llanish sohasi, sxemasi, ishlash prinsipi, xarakteristikasi, asosiy parametrlari

Gidrodvigatelning boshqaruvchi qismining siljishi va tezligini tashqaridan berilgan signal bo'yicha avtomatik boshqaruchi sistema bilan ta'minlangan gidrouzatmalar taqlidiy gidrouzatmalar deyiladi. Ularda porshen (shtok)ning harakati murakkabroq bo'lishi talab etiladi. Masalan, bir qancha boshqarish sistemalarida kush gidrosilindrning shtoki boshqarish dastasining harakatiga avtomatik tarzda shunday taqlid etadiki, boshqarish dastasining har bir holatiga shtokning tegishli zo'riqishga va siljish tezligiga ega bo'lgan holati mos keladi. Bu hollarda gidrosilindrler gidrokushaytirgishlar yoki busterlar deyiladi, shunki ijroshi qism dasta harakatini faqat takrorlamay, balki kuchaytirib ham beradi va olingan kuch dastaga qo'yilgandan ancha katta bo'ladi.

Zamonaviy mashimalarni boshqarish, odatda, gidrokuchaytirgichlar yordamida amalga oshiriladi, shunki boshqarish qismlaridagi kush, ko'pincha, odamning muskul kuchidan ko'p marta ortiq bo'ladi.

Gidrokushaytirgish (buster) ning sxemasi 3.48-rasmida keltirilgan.



3.48 – rasm. Gidrokuchaytirgish

Boshqarish dastasini o'ngga surib, suyuqlikni bosim ostida kanal 3 orqali silindr 4 ning shap bo'shilig'iga yo'naltiruvchi o'ng bo'shilig'ini quyish trubasi bilan birlashtiruvchi zolotnik 2 siljiltiladi. Nasos hosil qilgan bosim ta'sirida porshen 5 zolotnik 6 ning korpusi bilan birga zolotnikning silindrga suyuqlik beruvchi va oluvchi kanali berkilgucha siljib boradi.

Dasta va zolotnik o'ngga siljiganda suyuqlik silindrning o'ng bo'shlig'iga beriladi va porshen chapga suriladi. Shunday qilib, ijroshi shtok 7 ijroshi mexanizm bilan bog'-langan zolotnik 2 ning barcha harakatiga taqlid qilib ergashib boradi, lekin uning hosil qilgan kuchi zolotnikka qo'yilgan kuchdan ko'p marta katta bo'ladi.

Gidrokuchaytirgichni kuch uzatuvchi sifatidagi asosiy parametrlarini ko'ramiz. Gidrokushaytirgishning ijroshi shtokidagi kuch, uning FIK i va hosil qilgan quvvati uchun formulalar chiqaramiz.

Gidrokuchaytirgichga berilgan bosim ijrochi shtokdagi kuchni yengishga va gidravlik qarshilikka sarf bo'ladi, ya'ni

$$p_0 = \Delta p_s + \sum p \quad (25.1)$$

bu erda  $p_0 = p_{kir} - p_{chiq}$  — gidrokushaytirgishga kirish va undan chiqishdagi bosimlar farqi;  $\Delta p_s = p_1 - p_2$  — silindrda bosimlar farqi ( $\Delta p_s = P/S$ ); S - (shtok yuzasi ayirilgan) porshen yuzasi;  $\Sigma p$  gidrokuchaytirgichga kirishdan chiqishgacha oraliqdagi yo'qotishlar yig'indisi.

Gidravlik yo'qotishlar, asosan, zolotnikning chala berkilgan ikki to'ynugida bo'ladi va bu yo'qotish kvadratik qonunga bo'ysunadi deb, hisoblasak, quyidagini olamiz:

$$\sum p = 2\zeta \frac{v^2}{2g} \quad (25.2)$$

bu erda  $\zeta$  — zolotnik tuynugining qarshilik koeffisientu;  $v$  — zolotnik tuynugidan suyuqlik oqish tezligi. Zolotnik tuynugi, odatda, to'g'ri to'rtburshak shaklida bo'lgani uchun uning bir tomoni o'zgarmas  $b$  ga, ikkinchi tomoni o'zgaruvchi  $x$  ga teng deb, sarf tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$Q = vs = vbx \quad (25.3)$$

Bundan tezlik  $v$  ni sarf  $Q$  orqali ifodalarak,  $\sum p$  ni o'miga qo'yib, ushbuni olamiz:

$$p_0 = \Delta p_s + 2\zeta \gamma \frac{Q^2}{2g(bx)} \quad (25.4)$$

Yoki

$$p_0 = \Delta p_s + K \frac{Q^2}{x^2} \quad (25.5)$$

bu yerda

$$K = \frac{\zeta \gamma}{gb^2} \quad (25.6)$$

K ni taxminan o'zgarmas va sarfga bog'liq emas deb qarash mumkin. Agar gidrokuchaytirgichni o'zgarmas bosimli boshqariluvchi nasos ta'minlasa va suyuqlik keltilriluvchi trubalardagi gidravlik yo'qotishlarni tashlab yuborish mumkin deb qaralsa, u holda bosim  $p_0$  ham o'zgarmas bo'ladi va nasos hosil qilgan bosimga mos keladi. Ijroshi shtokda zo'riqish bo'lmasa  $p_0 = 0$  va  $\Delta p_n = 0$  zolotnik tuynugi to'liq oshilganda ( $x = x_{\max} = l$ ), gidrokuchaytirgichda suyuqlikni so'rish (sarfl)  $Q = Q_{\max}$  bo'ladi.

Bu holda (25.5) tenglamadan

$$K = p_0 \left( 1 - \frac{x_{\max}^2}{Q_{\max}^2} \right) \quad (25.7)$$

Olingan miqdorni (25.5) tenglamaga qo'syak va uni  $\Delta p_n$  ga nisbatan yechsak, ushbuni olamiz:

$$\Delta p_s = p_0 \left( 1 - \frac{\bar{Q}^2}{x_{\max}^2} \right). \quad (25.8)$$

Nisbiy sarf ( $\bar{Q}$  yoki nisbiy tezlik  $\bar{v}$ ) va zolotnik tuynugining ochilish darajasi  $\bar{x}$  belgilarini kirlitsak

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{v}{v_{\max}} = \bar{v}$$

$$\bar{x} = \frac{x}{x_{\max}}.$$

Ijrochi shtokdagi kuchni quyidagicha aniqlash mumkin:

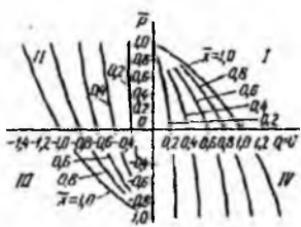
$$P = \Delta P_s S = p_0 S \left( 1 - \frac{\bar{Q}^2}{\bar{x}^2} \right). \quad (25.9)$$

U holda nisbiy yuklanish r shunday topiladi:

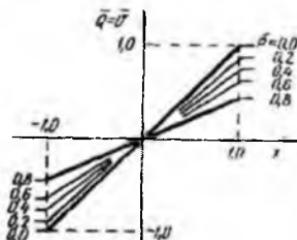
$$\bar{p} = \frac{P}{p_0 S} = 1 - \frac{\bar{Q}^2}{\bar{x}^2} = 1 - \frac{\bar{v}^2}{\bar{x}^2}. \quad (25.10)$$

Olingan tenglama gidrokuchaytirgichning statik xarakteristikasini tuzishga, ya'ni  $\bar{x}$  ning turli qiymatlari uchun  $\bar{p}$  va  $\bar{Q}$  ning bog'lanishini (3.49-rasm) qurishga imkon beradi. Grafik  $\bar{Q}$  va  $\bar{x}$  ning manfiy va musbat qiymatlari, ya'ni zolotnik va shtokning, demakki, suyuqlikning birinchi va ikkinchi yo'naliishlardagi harakati uchun ko'rilgan. Grafikdan ko'rinish turibdiki, tezlik  $v$ ning faqat kichik qiymatlaridagina shtokdagi kuch maksimal qiymati ( $P = p_0 S$ ) ga yaqinlashadi. Ijrochi shtok qancha tez surilsa, shuncha kichik qarshilikka uchraydi. Egri chiziq abstsissa o'qini kesib o'tganda shtokdagi kuch

ishorasini o'zgartiradi, ya'ni yana o'sib boradi, gidrosilindr esa nasos rejimiga o'tadi. Shunday qilib, grafikda I va III kvadrantlarda gidrosilindr gidrovigateldek ishlaydi va yuklanishni yenguvchi ish bajaradi, II va IV kvadrantlarda esa nasosdek ishlab suyuqlikni asosiy nasos haydagan yo'nalishda haydaydi.



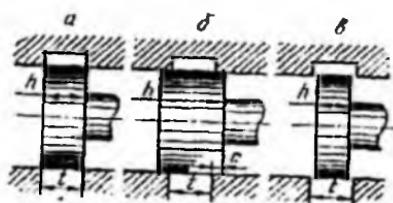
3.49 - rasm. Gidrokushaytirgishning statik xarakteristikasi ( $p$  va  $\bar{Q}$  yoki  $x$  koordinatalarida)



3.50 - rasm. Gidrokushaytirgishning statik xarakteristikasi ( $\bar{Q}$  va  $x$  yoki  $\bar{x}$  koordinatalarida)

Statik xarakteristikani boshqa koordinatalar sistemasida ham qurish mumkin. (25.10) tenglamani ---- ga nisbatan eshamiz:

$$\bar{Q} = \bar{v} = \bar{x}\sqrt{1-p} \quad (25.11)$$



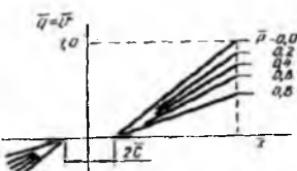
3.51 - rasm. Gidrokushaytirgichlarda qo'llaniladigan zolotniklar

va  $\bar{Q} = \bar{v}$  ning  $\bar{x}$  ning turli qiymatlarida  $\bar{p}$  ga bog'liq munosabatini (3.50-rasm) tuzamiz.  $x$  o'qiga qiyalik burchagi, gidrokushaytirgichning ijrochi shtokidagi yuklanish qancha katta bo'lsa, shuncha kichik bo'lgan to'g'ri chiziqlarni olamiz.  $p = 1$  bo'lganda gidrokushaytirgichning xarakteristikasi

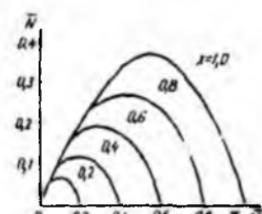
abstsissa o'qi bilan ustma-ust tushadi, boshqacha aytganda ijrochi shtokning tezligi nolga teng bo'ladi. Gidrokushaytirgichning xarakteristikasiga zolotnikning yopilishi, ya'ni zolotnik porshenining kengligi  $h$  va zolotnik tuynugining eni  $l$  ta'sir qiladi. Shuning uchun zolotniklar quyidagicha ajratiladi:  $h = 1$  bo'lgan ideal zolotnik (3.51-rasm, a);  $h > 1$  bo'lgan musbat berkilishli zolotnik 3.51-rasm, b) va  $h < 1$  bo'lgan manfiy berkilishli yoki o'tkazuvchi zolotnik 3.51-rasm, v. Berkilish kattaligi qilib, quyidagi kabul qilingan.

$$C = \frac{h-1}{2} \text{ yoki } \bar{C} = \frac{h-1}{2l} \quad (25.12)$$

3.50-rasmida keltirilgan xarakteristika ideal zolotnikka ( $S=0$ ) tegishlidir. Musbat berkilishli zolotnikning xarakteristikasida o‘lchami  $2S$  bo‘lgan sezgirmaslik zonasini hosil bo‘ladi va bu kamchilik hisoblanadi, lekin germetiklikni oshiradi (3.52-rasm).



3.52 - rasm. Musbat berkilishli zolotnik qo'llanilgan gidrokuchaytirgichlarda statik xarakteristika ( $\bar{Q}$  yoki  $x$  va  $z$  koordinatalarida)



3.53 - rasm. Gidrokuchaytirgichlarda nisbiy quvvatning  $\bar{Q}$  ga bog'liqligi grafigi

O‘tkazuvchi zolotnikda bosim chizig‘idan suyuqlikning quyilishga oqib ketishi demakki, quvvatning pasayishi sodir bo‘ladi. Amalda sezgirmaslik zonasini yo‘q, chunki zolotnikning betaraf holatdan ozgina siljishida kuch gidrosilindrida bosimlar farqi paydo bo‘ladi.

Gidrokuchaytirgichning foydali ish koefisienti ijroshi shtokning bir sekundlik ishining oqimning gidrokuchaytirgichga bergen quvvatiga nisbatidan iborat, ya’ni

$$\eta = \frac{Pv}{P_0 Q} = \frac{\Delta p_i S v}{P_0 S v} = \frac{\Delta p_i}{P_0} = \bar{p}. \quad (25.13)$$

Demak, gidrokuchaytirgichning FIKi shtokdagisi nisbiy yuklanishga teng va  $p$  ning o‘zgarish qonuni bo‘yicha o‘zgaradi.

Gidrokuchaytirgichning foydali quvvati quyidagiga teng

$$N = Pv \quad (25.14)$$

Nisbiy quvvat esa quyidagisha aniqlanadi:

$$\bar{N} = \frac{Pv}{P_0 S v_{max}} = \bar{p} v. \quad (25.15)$$

(25.10) formuladan foydalansak va  $v = \bar{Q}$  ni hisobga olsak,

$$\bar{N} = \left[ 1 - \frac{\bar{Q}^2}{\bar{x}^2} \right] \bar{p} \quad (25.16)$$

3.53- rasmida turli  $\bar{x}$  larda nisbiy quvvat  $\bar{N}$  ning  $\bar{Q}$  ga bogliqlik grafigi keltirilgan.

Nisbiy sarf  $\bar{Q}$  ning eng ko'p quvvatga to'g'ri kelgan qiymatini topamiz:  $x = 1$  da (25.16) da ushbuni olamiz:

$$\bar{N}_{\bar{x}=1} = (1 - \bar{Q}^2)\bar{Q} \quad (25.17)$$

Olingen kattalikni  $\bar{Q}$  bo'yicha hosila olib va nolga tenglashitirib, quyidagini olamiz:

$$\frac{d\bar{N}}{d\bar{Q}} = 1 - 3\bar{Q}^2 = 0 \quad (25.18)$$

Bundan maksimal nisbiy quvvatga tegishli optimal nisbiy sarf shiqadi

$$\bar{Q}_{opt} = \bar{v}_{opt} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0,58 \quad (25.19)$$

Bu holda maksimal nisbiy quvvatni topish qiyin emas.

$$\bar{N}_{max} = \left(1 - \frac{1}{3}\right) \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,385. \quad (25.20)$$

Bu formuladan shtokning nisbiy yuklanishi yoki gidrokuchaytirgichning FIKi topiladi:

$$\bar{p} = \eta = \frac{2}{3}. \quad (25.21)$$

Endi maksimal quvvatning absolyut qiymatini topamiz:

$$N_{max} = \frac{2}{3\sqrt{3}} p_0 S v_{max} = \frac{2}{3\sqrt{3}} Q_{max} p_0. \quad (25.22)$$

$Q_{max}$  ni yuqorida keltirilgan  $K$  ning formulasini (25.7) dan topamiz:

$$Q_{max} = x_{max} \sqrt{\frac{p_0}{K}}. \quad (25.23)$$

Buni yuqoridagi munosabatga qo'ysak,  $N_{max}$  ning  $K$  ga bog'liqlik funksiyasini topamiz:

$$N_{max} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{x_{max}}{\sqrt{R}} p_0^{3/2}. \quad (25.24)$$

Keltirilgan bu formulalar gidrokuchaytirgichlarni hisoblash uchun asosiy formulalar bo'lib xizmat qiladi.

Hlovalar

9- j a d v a l. Gidrouzatmalarda qo'llaniladigan industrial moylarning asosiy xarakteristikasi

Neft moylarining nomi va markasi	solishirma og'irlik ( $20^{\circ}\text{S da}$ )	Kinematik qovushqoqlik, SST da ( $20^{\circ}\text{S da}$ )	Elastik moduli $\text{Ye} / 9,810^8 \text{ Hm}^2$	I bargal tegishli havoning eruvshanligi ( $20^{\circ}\text{S da}$ )	Issiqlik sig'qimi ( $20^{\circ}\text{S da}$ )	Yonish temperaturasi, $^{\circ}\text{C}$	Qotish temperaturasi, $^{\circ}\text{C}$	Kislotalik soni KOH
Industrial (velonsit) GOST 1840—51	0,854	12,8	134	0,0959	0,453	112	-25	0,04
Industrial (vazelin moyi) GOST 1840-51	0,878	19,1	135	0,0877	0,446	125	-20	0,04
Industrial 12 (urshuq moyi 2) GOST 1707-51	0,92	49,0	136	0,0759	0,436	165	-30	0,14
Industrial 20 (urshuq moyi 2) GOST 1707-51	0,93	100	136	0,0755	0,432	170	-20	0,14
Moylar aralashmasi GMS -2	0,834	20,8	135	0,1038	0,458	—	—	—

## Gidrouzatmalarda qo'llaniladigan maxsus moylarning asosiy xarakteristikasi

Neft moylarining nomi va markasi	$r^*$ solishirma og'irlik $20^{\circ}\text{S}$	Kinematik qovushqoqlik, SST da, $20^{\circ}\text{C}$	Elastik moduli $\text{Ye} / 9,8 \cdot 10^8 \text{ H/m}^2$	1 barga tegishli havoning eruvshanligi $20^{\circ}\text{C}$	Issiqlik siqimi, $20^{\circ}\text{C}$	Yonish temperaturasi, $^{\circ}\text{C}$	Qotish temperaturasi, $^{\circ}\text{C}$	Kislotalik soni KOH
AMG-10 moyi GOST 6794-53	0,85	16,0	133	0,0942	0,452 0	92	- 70	0,05
MK-8 aviasiya moyi GOST 6457-53	0,885	30,0	135	-	0,441 0	135	- 55	0,04
Aralashmali transformator moyi BTI-T GOST 982-55	0,887	30,0	135	0,0828	0,442 0	135	- 45	0,03
Ushruq moyi AU, GOST 1642-50	0,889	49,0	135	0,0759	0,442 5	169	- 45	0,07
Turbina moyi GOST 32-53	0,894	96,0	135	-	0,443 0	180	- 15	0,20
Yengil avtomobil uchun uzatma moyi GTM-3	0,900	105,0	135	-	0,443 0	170	- 40	0,35

## FOYDALANILGAN ADABIYOT

1. Bashta' T. M., Rudnev S. S., Nekrasov B. B. va boshqalar, Gidravlika i gidravlicheskie mashini M., "Al'yans" 2009 g.1.
2. Latipov Q.SH. Gidravlika , gidromashinalar va gidroyuritmalar.- Toshkent: O'qituvchi, 1992 y.
3. Shtrenlixt D.V. Gidravlika. M., Energoatomizdat, 1992 g.
4. Kiselev P. G. Gidravlika osnovi mexaniki jidkosti. M., Energiya 1980 g.
5. Osipov P. Ye. Gidravlika i gidravlicheskie mashini, M., "Lesnaya promishlennost, 1965 g.
6. Uginshus A. A. Gidravlika i gidravlicheskie mashini, Xarkov, izd. Xarkovskogo Gosuniversiteta im. A. M. Gorkogo 1966g
7. Kostyushenko E.V.,Laptyev V.I., Xolodok L.A. Praktikum po gidravlike i gidromxanizacii selskoxozyaystvenix processov.- Minsk urojaj, 1991g.
8. Yufin A. P. Gidravlika, gidravlicheskie mashini i gidroprivodi M., "Vissaya Shkola", 197 1965g
9. A.Arifjanov, I.Axmedxodjayeva, A.Fatxullayev. Suv resurslari.TIMI, 2008y.
10. Nekrasov B.B. Zadachnik po gidravlike, gidromashinam i hidroprivodu-M „Vissaya shkola“. 1995g.
11. Yesman I. G. Nasosi. Izd. Neftyanoy i Gomo-toplivnoy literaturi. M., 1954 g.
12. Tumarkin M. B. Gidravlicheskie sledyashie privodi M., "Mashinostroenie", 1966 g.
13. Krivshyenko G.I., Gidravlicheskie mashini, M., Energiya 1978 g.
14. Prokofyev V.N., Danilov Yu.A., Kondakov L.A., Luganskiy A. S. Syelin Yu. A. Aksialno-porshnevoy reguliruemiy privod, M., "Mashinostroenie"

M., 1969 г.

15. Geyyer V. G., Dumin V. S, Borsmenskiy A. G., Zorya A. N. Gidravlika gidroprivod "Nedra" M., 1970 г.
16. K.Sh. Latipov - Suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchlanishi haqida UzSSR FA Axborotlari, texnika fanlari seriyasi, 1980 y. № 6. 43-47- bet.
17. K.Sh. Latipov - Gidravlik qarshilik koeffisientini aniqlashga doir. UzSSR FA Dokladlari 1982 y. № 8; 16-19-bet.
18. Norkin P. K., Latipov K. Sh. Gidrodinamicheskie peredashi i ob'emniy gidroprivod (konsept leksiy) Izd-vo TashPI Tashkent - 1980 y.

# M U N D A R I J A

	<b>So'z boshi</b>	<b>3</b>
	<b>Kirish</b>	<b>4</b>
	<b>B i r i n c h i q i s m Gidravlika.</b>	<b>9</b>
	<b>I b o b. Suyuqliklarning asosiy xossalari</b>	<b>9</b>
1.1-§.	Suyuqlik to'g'risida asosiy tushunchalar	9
1.2-§.	Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar	10
1.3-§.	Suyuqliklarning fizik xossalari	10
1.4-§.	Suyuqliklardagi ishqalanish kuchi Nyuton qonuni. Qovushoqlik	14
1.5-§.	Sirt taranglik (kapillyarlik)	19
1.6. §.	Suyuqlik to'yingan bug'ining bosimi	20
1.7.-§.	Gazlarning suyuqlikda erishi. Kavitasiya hodisasi haqida tushuncha	21
1.8-§.	Ideal suyuqlik modeli	21
1.9-§.	Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar	22
	<b>II b o b. Gidrostatika</b>	<b>25</b>
1.11-§.	Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari	26
1.12-§.	Suyuqliklar muvozanatining Eyler differensial tenglamasi	28
1.13-§.	Bosimi teng sirtlar. Erkin sirt	29
1.14-§.	Eyler tenglamasining integrallari	30
1.15-§.	Gidrostatikaning asosiy tenglamasi	33
1.16-§.	Absolyut, manometrik, vakuumometrik va atmosfera bosimlari. Bosim o'lchov birliklari	34
1.17-§.	Bosim o'lhash asboblari	35
1.18-§.	Paskal qonuni	39
1.19-§.	Gidrostatik mashinalar	40
1.20-§.	Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim	48
1.21-§.	Egri sirtlarga ta'sir qiluvchi bosim	69
1.22-§.	Bosim epyurasi	71
1.23-§.	Arximed qonuni	78

1.24- §.	Jismalarning suyuqlikda so‘zishi. Suzuvchanlik	79
1.25-§.	Nisbiy tinchlik	81
	<b>III b o b. Suyuqliklar kinematikasi va dinamikasi asoslari.</b> <b>Suyuqliklarda harakat turlari.</b>	86
1.26-§.	Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari	86
1.27-§.	Oqimchali harakat haqida asosiy tushunchalar. Oqim chizig‘i, oqim naychasi va oqimcha. Suyuqlik oqimlari.	88
1.28-§.	Oqimning asosiy gidravlik elementlari	89
1.29-§.	Suyuqliknинг barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi	93
1.30-§.	Ideal suyuqliklar uchun harakat tenglamasi. Suyuqlik harakati ushun Eyler tenglamasi	95
1.31-§.	Real suyuqliklarda ichki kuchlar. Nave-Stoks tenglamasi	98
1.32-§.	Elementar oqim uchun Bernuli tenglamasi	101
1.33-§.	Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari	106
1.34-§.	Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi	111
1.35-§.	Real suyuqliklar oqimi uchun Bernulli tenglamasi. Koriolis koefisienti	113
1.36-§.	Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi	114
1.37-§.	Gidravlik va pezometrik qiyaliklar haqida tushuncha	116
1.38-§.	Gidravlik yo‘qotish haqida tushuncha. Gidravlik yo‘qotishning turlari	118
1.39-§.	Tezlik va sarf o‘lhash usullari hamda asboblari	119
	<b>VI b o b. Suyuqlik harakatining tartiblari va gidrodinamik o‘xshashlik asoslari</b>	126
1.40-§.	Suyuqlik harakatining ikki tartibi. Reynolds kritik soni	126
1.41-§.	Gidrodinamik o‘xshashlik asoslari. Gidrodinamik hodisalarni modellash	129
	<b>V b o b. Suyuqliklarning laminar harakati</b>	136
1.42-§.	Tezlikning silindriq truba kesimi bo‘yicha taqsimlanishi	136
1.43-§.	Truba uzunligi bo‘yicha bosimning pasayishi (Puazeyl formulasi)	138
1.44-§.	Oqimning boshlang‘ish bulagi	139

1.45-§.	Tekis va xalqasimon tirkishlarda suyuqlikning laminar harakati	141
1.46-§.	Laminar oqimning maxsus turlari (o'zgaruvchan, qovushoqlik, obliterasiya)	147
	<b>VI b o b. Suyuqliklarning turbulent harakati</b>	151
1.47-§.	Suyuqlik turbulent harakatining xususiyatlari	151
1.48-§.	Tezlik va bosim pulsasiyalar	152
1.49-§.	Tenglashtirilgan tezliklarning kesim bo'yicha taqsimlanishi	154
1.50- §.	Turbulent harakatda urinma zo'riqish	157
1.51 -§.	Trubalarda bosimning kamayishi	157
1.52-§.	Darsi formulasi va uzunlik bo'yicha ishqalanishga yo'qotish koeffisienti (Darsi koeffisienti)	162
1.53-§.	Truba devorining g'adir-budirligi. Absolyut va nisbiy g'adir-budirlilik	164
1.54-§.	Nikuradze va Murin grafiklari	165
1.55-§.	Gidravlik silliq va g'adir-budir trubalar	168
1.56-§.	Darsi koeffisientini aniqlash uchun formulalar va ularning qo'llanish sohalari	170
1.57-§	Nosilindrik trubalardagi harakatlar	172
	<b>VII b o b. Mahalliy gidravlik qarshiliklar</b>	175
1.58-§.	Mahalliy qarshilikning asosiy turlari. Mahalliy qarshilik koeffisienti	175
1.59-§.	Reynolds sonining katta qiymatlari uchun mahalliy qarshilik koeffisientlari	179
1.60- §.	Trubaning keskin kengayishi (Bord teoremasi)	180
1.61 -§.	Diffuzorlar	183
1.62-§.	Trubalarning torayishi	185
1.63-§.	Tirsaklar	186
1.64-§.	Reynolds sonining kichik qiymatlarida mahalliy qarshilik koeffisienti	188
1.65-§.	Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitaliya hodisasi	190
1.66-§.	Kavitaliyadan amalda foydalanish	191

1.67-§.	Mahalliy qarshiliklarning o‘zaro ta’siri	191
	VIII b o b. <b>Suyuqliklarning teshik va naychaldan oqishi</b>	195
1.68-§.	Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o‘zgarmas bosimda oqishi	195
1-69-§.	Siqilish, tezlik va sarf koeffisientlari	197
1.70-§.	Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi	199
1.71-§.	Turli xil naychalar	201
1.72-§.	Suyuqliklarning teshikdan o‘zgaruvchan bosimda oqishi	203
1.73-§.	Oqimcha texnikasi haqida tushuncha	205
	<b>IX b o b. Trubalarni gidravlik hisoblash</b>	211
1.74-§.	Sodda trubani hisoblashning asosiy tenglamasi	212
1.75-§.	Trubaning tejamlı diametrini topish haqida tushuncha	216
1-76-§.	Sifon truba	218
1.77- §.	Trubalarni ketma-ket va parallel ulash	220
1.78-§.	Murakkab truboprvodlar	224
1.79- §.	Nasosdan ta’minlanuvchi truba	227
1.80-§.	Elektrogidravlik o‘xshashlik (analogiya) haqida tushuncha.	229
	<b>X b o b. Suyuqliklarning beqaror harakati</b>	238
1.81-§.	Siqilmaydigan suyuqlikning deformasiyalanmaydigan trubalarda inersiya bosimi hisobga olingan beqaror harakati	239
1.82-§.	Gidravlik zarba hodisasi	243
1.83-§.	To‘g‘ri zarba uchun N. Ye. Jukovskiy formulasi	245
1.84-§.	Teskari gidravlik zarba haqida tushuncha	248
1.85-§.	Gidravlik zARBANI susaytirish usullari	251
1.86-§.	Gidravlik zARBADAN amalda foydalanish	253
	<b>XI b o b. Oqimning devorlar bilan o‘zaro ta’sirlashuvi</b>	255
1.87-§.	Oqimchaning to’siqlarga ta’siri	255
1.88-§.	Oqimning devorga ta’sir kuchi	256
	<b>I k i n c h i q i s m. Gidromashinalar</b>	259
	<b>I b o ‘l i m. Kurakli nasoslar</b>	259
	<b>XII b o b. Gidromashinalar haqida umumiy tushunchalar</b>	259

2.1-§.	Nasoslar va gidrosvigatellar	259
2.2-§.	Nasoslarni guruhlash	260
2.3-§.	Dinamik va hajmiy nasoslarning ishlash prinsiplari	264
2.4-§.	Nasoslarning asosiy parametrlari	266
	<b>XIII b o b. Kurakli nasoslar nazariyasining asoslari</b>	272
2.5-§.	Markazdan qochma nasoslar	272
2.6-§.	Bir bosqichli markazdan qochma nasosning sxemasi	273
2.7-§.	Nasos va turbinalar uchun Eyler tanglamasi	276
2.8-§.	Nasosning nazariy bosimi. Kuraklar egriligining bosimga ta'siri	279
2.9-§.	Foydali bosim	281
2.10 §.	Nasosda energiya yo'qotilishi. Nasosning foydali ish koeffisienti	282
2.11-§.	Markazdan qochma nasoslarning xarakteristikalarli	285
2.12-§.	Nasoslarning o'xshashligi asoslari	287
2.13-§.	Tezyurarlik koeffisienti va kurakli nasoslarning turlri	288
2.14-§.	O'qiy nasoslar	290
	<b>XIV b o b. Kurakli nasoslarning ekspluatasion hisobi</b>	292
2.15- §.	Nasoslar xarakteristikalarini qayta hisoblashda o'xshashlik formulalaridan foydalanish	292
2.16-§.	Nasos qurilmasi	293
2.17-§.	Nasos bilan ta'minlangan trubalarning hisobi	294
2.18-§.	So'rishni boshqarish	295
2.19-§.	Nasoslarni ketma-ket va parallel ulash	298
2.20- §.	Kurakli nasoslarda kavitaliya. Chegaraviy so'rilish balandligi	302
2.21-§.	Kavitaliya xarakteristikasi	304
2.22-§.	Kavitaliya zapasi	305
2.23-§.	S S. Rudnev formulasi va uning qo'llanilishi	306
	<b>XV b o b. Uyurmali va oqimchali nasoslar</b>	309
2.24- §.	Uyurmali nasoslarning sxemasi, ishlash pripsipi, xarakteristikasi, qo'llanish sohalari	309
2.25- §.	Oqimchali nasoslarning sxemasi, ishlash prinsipi va ishlatalish sohalari	311

	<b>II b o‘l i m. Hajmiy nasoslar .</b>	320
	<b>XVI b o b. Hajmiy nasoslar to‘g‘risida umumiy tushunchalar.</b>	320
2.26- §.	Hajmiy nasoslar va ularning ishlashi prinsipi	320
2.27-§.	Hajmiy nasoslarning umumiy xossalari va ularniig klassifikasiyasi	321
	<b>XVII b o b. Porshenli va plunjерli nasoslar</b>	323
2.28-§.	Porshenli va plunjерli nasoslarning tuzilishi hamda ishlatalish sohalari	323
2.29-§.	Indikator diagramma	324
2.30-§.	Porshenli nasoslarning foydali ish koeffisienti	326
2.31-§.	So‘rish grafigi va uni tekislash usullari	328
2-32-§.	Diafragmali nasoslar	332
	<b>XVIII. b o b. Rotorli nasoslar</b>	335
2.33-§.	Rotorli nasoslarning guruhanishi umumiy xossalari va qo‘llanilishi	335
2.34-§.	Rotorli nasoslarning tuzilishi va xossalari	336
2.35-§.	Rotorli nasoslarning ish xajmi va sarfini aniqlash	343
2.36-§.	Hajmiy nasoslarning xarakteristikalari va nasosning tarmoqda ishlashi	347
2.37-§.	Rotorli nasoslarni boshqarish	349
	<b>Uchinchi qism</b>	351
	<b>I b o‘l i m. Gidrouzatmalar va hajmiy gidroyuritmalar</b>	351
	<b>XIX b o b. Umumiy tushunchalar</b>	351
3.1-§.	Gidrodinamik uzatmalarning vazifasi va ishlatalish sohalari	351
3.2-§.	Ishlash prinsipi guruhanishi	352
3.3-§.	Ish suyuqliklari	354
	<b>XX b o b. Gidrodinamik mustalar</b>	355
3.4-§.	Gidromuftaning tuzilishi va ishlashi	356
3.5-§.	Asosiy parametrlar va tenglamalar	358
3.6-§.	Gidravlik muftaning xarakteristikalari	365
3.7-§.	Gidromuftaning dvigatel bilan birgalikda ishlashi	368
3.8-§.	Gidromufsta ishini rostlash	370

	<b>XXI b o b. Gidrodinamik transformatorlar</b>	372
3.9-§.	Gidrotransformatorlarning vazifalari, guruhlanishi, tuzilishi va ishlash jarayoni	372
3.10-§.	Asosiy parametrlar, tenglamalar va ularniig mohiyati	373
3.11-§.	Gidrotransformatorda energiyaning yo'qotilishi	375
3.12-§.	Turli gidrotransformatorlarning tashqi xarakteristikalari	376
3.13-§.	Gidrotransformator uchun o'xshashlik formulalari va ularning qo'llanishi	379
3.14-§.	Gidrotransformatorlarning dvigatellar bilan birgalikda ishlashi	381
3.15-§.	Kompleks gidrotransformatorlar	386
	<b>II b o'li m. Hajmiy gidrouzatmalar. Asosiy tushunchalar</b>	388
3.16-§.	Gidrouzamatlarning vazifalari, guruhlanishi, qo'llanish sohasi, afzalligi va kamchiliklari	388
3.17-§.	Hajmiy gidrouzatmaning ishlash prinsipi	389
3.18-§.	Chiqish tezligini drosseli va hajmiy boshqarish	390
3.19-§.	Hajmiy gidrouzatmalarining xarakteristikalari va FIK	392
	<b>XXIII b o b. Gidrodvigatellar</b>	397
3.20-§.	Kuch gidrodvigatellarining tuzilishi va vazifalari	397
3.21-§.	Gidrosilindrлarni hisoblash	398
3.22-§.	Burilma gidrodvigatellar	398
3.23-§.	Rotorli gidrodvigatellar ularning qaytarlik xususiyatlari	399
3.24-§.	Porshenli, plastinkali, shesternyali va vintli gidrodvigatellar hamda ularni boshqarish. Burovchi moment va valdag'i quvvatni xisoblash	399
3.25-§.	Yuqori momentli gidromotorlar	402
	<b>XXIV b o b. Gidroapparatura va gidrouzatmaning boshqa elementlari</b>	403
3.26-§.	Taqsimlangich qurilmalar, ularning vazifalari, guruhlanishi, ishlash prinsipi va asosiy turlari	403
3.27-§.	Klapanlar. Ishlash prinsipi, tuzilishi va xarakteristikalari	404
3.28-§.	Drossel qurilmalarning vazifasi, ishlash prinsipi va xarakteristikasi	409
3.29-§.	Filtrlar	411

3.30-§.	Gidroakkumulyatorlar	413
3.31-§.	Gidrochiziqlar.	413
	<b>XXV b o b. Taqlidiy gidrouzatmalar</b>	415
3.32-§.	Vazifasi, qo'llanish sohasi, sxemasi, ishlash prinsipi, xarakteristikasi, asosiy parametrlari	415
	Foydalanylган адабиёт	423

## **Gidravlika va gidravlik mashinalar**

*(O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'limgazirligi oliy texnika  
o'quv yurtlari uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etgan)*

**Badiiy muharrir:**

N. Sharipova

**Dizayner:**

M. Bozorova

Nashriyot litsenziyasi AI-155, 14.08.2013 y.

Terishga berildi 28.10.2013 y.

Bosishga ruxsat etildi 25.12.2013 y

Ofset qog'oz. Qog'oz bichimi 60x84.<sup>1/16</sup>

Times New Roman garniturasi. Ofset bosma.

Bosma tobog'i 26,63. Adadi 100 dona. Buyurtma № 126

Bahosi kelishilgan narxda.

Alisher Navoiy nomli nashriyotda nashrga

tayyorlandi. Manzil:

210100, Navoiy sh., Navoiy ko'chasi, 36-uy.

Tel.: (8436) 224-93-31







3/10THS

2/

50

210

210

ISBN 978-9943-4168-0-2



9 789943 416802