

**O`ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O`RTA MAXSUS TA`LIM VAZIRLIGI**

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO`JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI”
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

A.M. ARIFJANOV, S.N. XOSHIMOV

**GIDRAVLIKA VA GIDRAVLIK
TIZIMLAR
FANIDAN DARSLIK**

TOSHKENT - 2022

UDK 532(075.8)

A.M. ARIFJANOV, S.N. XOSHIMOV.

/GIDRAVLIKA VA GIDRAVLIK TIZIMLAR/

DARSLIK, T-2022., 350 b.

Darslik "Gidravlika va gidravlik tizimlar" fani dasturi asosida tayyorlangan bo'lib, darslikda gidravlika asoslari, gidrostatika va gidrodinamikaning asosiy tenglamalari, quvurlarning va gidrotizimlarning gidravlik hisobi hamda gidravlik tizimlar va hajmiy gidroyuritmalar masalalari yoritilgan. Shu bilan bir qatorda hajmiy gidroyuritmalar gidravlik hisobiga doir masalalarni hisoblash usullari, bilimlarni mustaxkamlash uchun masalalar, nazorat savollari keltirilgan. Darslikda har bir mavzular doirasida masalalar yechimi keltirilgan bo'lib, masalalar zamonaviy texnologiyalardan foydalanib yechish uslublari bilan boyitilgan.

Darslik reja asosida fan dasturiga mos ravishda 60810100 – "Qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash", 60810300 – "Qishloq va suv xo'jaligida texnik servis", 60810400 – "Qishloq xo'jaligida innovatsion texnika va texnologiyalarni qo'llash", 60112400 – "Professional ta'lim (Qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash)" bakalavriat ta'lim yo'nalishlari uchun mo'ljallangan bo'lib, fanning so'nggi yutuqlarini o'z ichiga olgan. Darslikda keltirilgan alohida ma'lumot va masalalardan soha bo'yicha ta'lim olayotgan magistratura mutaxassisligi talabalari ham foydalanishlari mumkin.

Учебник подготовлен на основе программы науки «Гидравлика и гидросистемы», в учебнике освещены основы гидравлики, основные уравнения гидростатики и гидродинамики, гидравлический расчет труб и гидросистем, а также вопросы гидравлические системы и объемная гидравлика. Кроме того, представлены методики расчета задач, связанных с гидравлическим расчетом объемных гидросистем, задач на закрепление знаний, контрольных вопросов. В учебнике решение задач представлено в рамках каждой темы, а задачи обогащены методами их решения с использованием современных технологий.

Учебник 60810100 – «Механизация сельского хозяйства», 60810300 – «Техническая служба в сельском и водном хозяйстве», 60810400 – «Применение инновационной техники и технологий в сельском хозяйстве», 60112400 – «Профессиональное образование (механизация сельского хозяйства)» предназначена для получения высшего образования специальностей и включает в себя последние достижения в области науки. Специальная информация и вопросы, представленные в учебнике, также могут быть использованы аспирантами, обучающимися по специальности.

The textbook was prepared on the basis of the science program "Hydraulics and Hydraulic Systems", the textbook covers the basics of hydraulics, the basic equations of hydrostatics and hydrodynamics, the hydraulic calculation of pipes and hydraulic systems, as well as issues of hydraulic systems and volumetric hydraulics. In addition, methods for calculating tasks related to the hydraulic calculation of volumetric hydraulic systems, tasks for consolidating knowledge, and control questions are presented. In the textbook, problem solving is presented within the framework of each topic, and the tasks are enriched with methods for solving them using modern technologies.

The textbook 60810100 - "Agricultural mechanization", 60810300 - "Technical service in agriculture and water management", 60810400 - "Application of innovative equipment and technologies in agriculture", 60112400 - "Vocational education (agricultural mechanization)" "is intended for obtaining higher education specialties and includes the latest advances in science. Special information and questions presented in the textbook can also be used by graduate students studying in the specialty.

Taqrizchilar:

A.S.Ibadullayev, Toshkent Davlat Transport Universiteti "Muhandislik kommunikatsiyalari va tizimlari" kafedrası professori, texnika fanlari doktori.

E.T.Farmonov, "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari institute" MTU, "Mashinalardan foydalanish va ta'mirlash" kafedrası v.b. professor, texnika fanlari doktori.

SO'Z BOSHI

Darslik ikki qismdan iborat. Birinchi Gidravlika qismida suyuqlik ning muzozanatdagi va harakatdagi qonuniyatlari yoritilgan bo'lib, gidrostatika, gidrodinamika, gidravlik qarshiliklar, quvurlarning gidravlik hisobi bo'limlarini o'z ichiga oladi. Ikkinchi gidravlik tizimlar qismida dinamik va hajmiy nasoslar, ularning tuzilishi va konstruktiv elementlarini hisoblash usullari hamda hajmiy gidroyuritmalarning ishlash tamoyillari va ularning injenerlik masalarni yechishda foydalanish imkoniyatlari bayon etilgan.

Darslik 60810100 – “Qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash”, 60810300 – “Qishloq va suv xo'jaligida texnik servis”, 60810400 – “Qishloq xo'jaligida innovatsion texnika va texnologiyalarni qo'llash”, 60112400 – “Professional ta'lim (Qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash)” bakalavriat ta'lim yo'nalishlari fan dasturlari asosida tayorlangan.

Darslikni tayyorlashda chet elda jumladan AQSH, Kanada, Avstriya va Slovakiyada chop etilgan adabiyotlarni tayyorlash tajribasidan keng foydalanilgan. Ushbu sohada respublikamizda va xorijiy adabiyotlarda (K.Sh.Latipov, Melvyn Kay) keltirilgan metodik va ilmiy yondoshuvlarga asoslanib fanda erishilgan yangi ma'lumotlar bilan boyitilgan.

O'zbekiston Respublikasi oliy ta'lim tizimini 2030 yilgacha rivojlantirish Kontsepsiyasida keltirilgan vazifalarni jumladan:

“mustaqil ta'lim soatlari ulushini oshirish, talabalarda mustaqil ta'lim olish, tanqidiy va ijodiy fikrlash, tizimli tahlil qilish, tadbirkorlik ko'nikmalarini shakllantirish, o'quv jarayonida kompetentsiyalarni kuchaytirishga qaratilgan metodika va texnologiyalarni joriy etish, o'quv jarayonini amaliy ko'nikmalarni shakllantirishga yo'naltirish...” kabi ishlarni amalga oshirish, talabalarda amaliy kunikmalarni shakllantirish maqsadida darsliknig har bir bo'lim yakunida yangi amaliy misol va masalarlar kiritildi. Keltirilgan masalalarni yechishda zamonaviy uslublardan foydalanish bo'yicha tavsiyalar keltirildi.

Darslikni tayorlash jarayonida “Toshkent Irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” milliy tadqiqot universiteti “Gidravlika va gidroinformatika” kafedrası xodimlari hamda taqrizchilar bildirilgan do'stona fikr va mulohazalariga minnatdorchilik bildiramiz.

Mualliflar

KIRISH

Gidravlika va gidravlik tizimlar fani suyuqliklarning muvozanat va harakat qonunlarini o'rganadi hamda bu qonunlarni texnikaning turli sohalariga tadbqiq etish bilan shug'ullanadi. Gidravlika so'zi yunoncha so'z bo'lib, "xyudor" – suv va "aulos" – quvur so'zlaridan tashkil topgan.

Bugungi kunga kelib gidravlikaning qamrovi kengayib, xalq xo'jaligining barcha sohalarida gidravlika qonuniyatlari va ularga asoslangan hisoblash usullari keng qo'llanilmoqda. Jumladan gidrotexnika, irrigasiya, melioratsiya, suv ta'minoti va kanalizatsiya, mashinasozlik, neft sanoati kabi bir qancha sohalarda keng qo'llanadi.

Insoniyat tarixining dastlabki davrlaridayoq suvdan foydalanish hayotda ma'lum o'rin egallagan. Arxeologik tekshirishlar odamlar juda qadim zamonlardan oq (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, vodoprovod va sug'orish tizimlari bunyod etilganligi to'g'risida ma'lumotlar mavjud.

Bizgacha yetib kelgan, gidravlikaga aloqador ilmiy ishlardan birinchisi Arximedning "Suzib yuruvchi jismlar haqida"gi asaridir.

Ahmad al-Farg'oniy, Abu Rayhon Beruniy, Abu Ali Ibn Sino, singari Sharqning buyuk mutafakkirlari suv ilmining rivojlanishiga katta hissa qo'shganlar. Ularning ilmiy asarlari suyuqlik miqdori va xususiyatlarini, suv harakatining qonuniyatlarini kashf etishga asos yaratildi.

Misrning Qohira shahri yaqinidagi Fursat shahrida, Nil daryosi gidravlika qonuniyatlariga asoslangan suv sathini o'lchaydigan inshoot barpo etishga Ahmad al-Farg'oniy katta hissa qo'shgan. Ilmiy-texnik va me'moriy jihatdan g'oyat ulug'vor bu qurilma Nil daryosining Sayyolot ul-Rod mavzesida hozirga qadar saqlanib qolgan. O'tgan asrning 70-yillarida Nil daryosida Asusan suv omborini qurilishida shu qurilma orqali olingan ma'lumotlardan foydalanilgan.

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

Suyuqlik qonunlarining ochilishi XVI–XVII asrlaridan boshlandi. Bularga Leonardo da Vinchining suyuqliklarning o'zandagi va trubadagi 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.

Gidravlika fanini taraqqiy qilqishiga XVII-XVIII asrlarda yashagan buyuk matematik-mexanik olimlar L.Eyler, D.Bernulli, M.Lomonosov, Lagranjlarning ilmiy asarlari asos bo'ldi. XVIII-XIX asrlarda Shezi, Darsi, Bussinesk, Veysbax va boshqa olimlarning ishlari hozirgi zamonda gidravlika deb ataluvchi amaliy fanning asosi bo'ldi.

Gidravlikaning taraqqiyotida N.Ye.Jukovskiyning gidromexanikadagi muhim ishlari va trubalardagi zarba nazariyasi, V.G.Shuxovning neft quvurlarini hisoblash bo'yicha ishlari, A.N.Krilovning kemalar nazariyasi, N.N.Pavlovskiyning suyuqliklarning filtrasiyasi nazariyasi, L.S.Leybenzonning yer osti gidromexanikasi va boshqa olimlarining ishlari dunyo faniga qo'shilgan buyuk hissa bo'lib hisoblanadi.

Suyuqlik mexanikasi va gidravlikasining bugungi rivojlanishiga O'zbekistonlik olimlar X.A.Rahmatulin, V.D.Jurin, D.F.Fayzullaev, K.Sh.Latipov, Yu.M.Denisov, A.M.Muxamedov, A.V.Troitskiy, S.T.Altunin, R.M. Karimov va boshqalar ham katta hissa qo'shganlar.

Birinchi qism. GIDRAVLIKA

1-bo'lim. Suyuqliklarning asosiy fizik xossalari

1.1 Suyuqlik nima?

Juda kam miqdordagi kuchlar ta'sirida o'z holatini o'zgartiruvchi, ammo siqilishga juda qattiq qarshilik ko'rsatuvchi fizik moddalar suyuqliklar deb ataladi. Ular qattiq moddalardan o'z tarkibidagi zarrachalarining o'ta harakatchanligi bilan ajralib turadi. Suyuqliklar oquvchanlik xususiyatiga ega bo'lib, shu boisdan ular qaysi idishga quyilsa, o'sha idishning shaklini oladi.

Gidravlika fanida suyuqliklar ikki qismga ajralgan holda, yani tomchilanuvchi suyuqliklar hamda gazsimon suyuqliklarga bo'lib o'rganiladi. Odatda tomchilanuvchi suyuqlik deganda suv, spirt, neft, simob, turli moylar va tabiatda hamda texnikada uchrab turuvchi boshqa har xil suyuqliklarga aytiladi.

Bunday suyuqliklar (tomchilanuvchi suyuqliklar) quyidagi xususiyatlarga ega:

- 1) bosim ta'sirida juda kam o'zgaradi va siqilishga qarshiligi o'ta sezilarli;
- 2) harorat o'zgarishi bilan hajmi juda kam miqdorga o'zgaradi;
- 3) cho'zishga ishlamaydi, yani cho'zuvchi kuchlarga ta'siri deyarli sezilmaydi;
- 4) suyuqlik sirtida molekulalararo o'zaro ta'sir kuchi (qovushqoqlik) yuzaga keladi va u sirt taranglik kuchini vujudga keltiradi.

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

Gidravlika fani tomchilanuvchi suyuqliklar bilan shug'ullanadi. Keyingi holatlarda uni to'g'ridan-to'g'ri suyuqlik deb atayveramiz.

Suyuqliklar tutash muhitlar qatoriga kiradi. Muvozanat va harakat hollarida doimo qattiq jismlar (suyuqlik solingan idish devorlari, quvur va kanallarning sirtlari, daryo o'zani va boshqalar) bilan chegaralangan bo'ladi. Suyuqliklarning gazlar (havo) bilan chegaralangan qismiga erkin sirt deyiladi.

Suyuqliklardagi ichki kuchlarning namoyon bo'lishi siljitivchi kuchlarga sezilarli darajada qarshilik ko'rsatishi hisobiga yuzaga keladi. Bu kuchlarni aniqlash suyuqliklar harakatini o'rganishda muhim ahamiyatga egadir.

1.2 Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi asosiy kuchlar

Suyuqliklarga ta'sir qiluvchi asosiy kuchlar ichki va tashqi kuchlarga ajraladi:

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

tashqi kuchlar - suyuqlikka boshqa moddalarning ta'sirida namoyon bo'ladi (masalan, suyuqlik solingan idish devorlarining ta'siri, suyuqlik ochiq yuzasiga ta'sir qilayotgan havo bosimi va h.k.).

Ichki kuchlar asosan siljitivchi kuchlarga qarshilik sifatida namoyon bo`ladi va bu kuchlar *ichki ishqalanish* kuchi deyiladi.

Tashqi kuchlarni suyuqlik yuzasiga va hajmiga ta'sir qiluvchi kuchlar sifatida ko`rish mumkin. Shuning uchun suyuqliklarga ta'sir qiluvchi kuchlar yuzaki va massa kuchlarga bo`linadi.

Yuzaki kuchlar, yani yuza kuchlari – qaralayotgan suyuqlikning sirtlariga ta'sir qiluvchi kuchlardir. Bunday kuchlarga bosim kuchi, sirt taranglik kuchi, idish devorining reaksiya kuchlari, ichki ishqalanish kuchi kiradi. Ichki ishqalanish kuchlari suyuqlik harakat qilgan vaqtda nomoyon bo`ladi hamda suyuqlikning qovushqoqlik xususiyatini yuzaga keltiradi.

Massa kuchlar, yani *hajmiy kuchlar* - qaralayotgan suyuqlik hajmining har bir zarrasiga ta'sir ko`rsatadi va uning massasiga proporsional bo`ladi. Ularga og`irlik va inertsia kuchlari misol bo`ladi.

1.3 Suyuqliklarning asosiy fizik xossalari

1. Zichlik. Suyuqlik massasining egallangan hajmiga nisbati uning zichligi deb ataladi. U holda ta'rifga asosan

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

bunda M - suyuqlikning massasi [$\frac{N \cdot s^2}{m} = kg$].

Zichlikning o`lchov birligi quyidagicha aniqlanadi:

$$|\rho| = \frac{M}{L^3} \left[\frac{N \cdot s^2}{m^4} \right].$$

Suyuqlikning nisbiy zichligi. Suyuqlik zichligining suvning 4°C haroratdagi zichligiga nisbati uning nisbiy zichligi deyiladi.

Suyuqlik zichligi haroratga (temperatura) bog`liq bo`lib, odatda, temperatura ortishi bilan kamayadi. Bu o`zgarish neft mahsulotlari uchun quyidagi munosabat orqali ifodalanadi (suvdan tashqari):

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_t(t - 20)} \quad (1.2)$$

bunda t – temperature, [°C], β_t – hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti; ρ_{20} – suyuqlikning 20°C dagi zichligi.

Suvning zichligi yuqoridagi qonunga bo`ysinmaydi, uning zichligi eng katta qiymatga 4°C (aniqrog`i 3,98°C) da ega bo`ladi. Suvning issiqligi bundan oshsa ham, kamaysa ham zichligi kamayib boradi.

2. Solishtirma og`irlik. Suyuqlik og`irligining hajm birligiga teng miqdoriga solishtirma og`irliki deyiladi. Solishtirma og`irlik ta'rifga asosan:

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

bu yerda: V - suyuqlik hajmi [m^3], G – og`irliki [N]. Solishtirma og`irlikning o`lchov birligi SI sistemasida

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

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

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

Solishtirma og`irlik hajmi ma'lum bo`lgan turli idishlardagi suyuqliklarning og`irligini o`lchash usuli bilan yoki areometrlar yordamida aniqlanishi mumkin.

Solishtirma og`irlik bosimga va temperaturaga bog`liq ravishda o`zgaradi va bu bog`liqlik ideal gazlar uchun quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{P}{\gamma} = RT \quad (1.4)$$

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

$$(R_{havo} = 287 \frac{J}{kg \cdot grad}, R_{me tan} = 518 \frac{J}{kg \cdot grad}),$$

Nisbiy solishtirma og`irligi deb suyuqlik solishtirma og`irligining $4^{\circ}C$ dagi suvning solishtirma og`irligiga nisbatiga aytiladi.

3. Suyuqliklarning haroratdan (issiqlikdan) kengayishi. Yuqorida aytib o`tilganidek, suyuqlikning asosiy fizik xossalari (zichlik va bosh.) harorat (issiqlik) o`zgarishi bilan o`zgarib boradi. O`z navbatida bu jarayon o`z-o`zidan issiqlik o`zgarishi bilan hajmning o`zgarishiga olib keladi. Suyuqliklarning haroratdan (issiqlikdan) kengayish xususiyati gidravlik mashinalarni hisoblash va turli masalalarni hal qilish vaqtida nazarga olish zarur bo`ladi.

Suyuqlikning haroratdan (issiqlikdan) kengayish holatlarini idishga solingan suyuqlikning qizdirilganda hajmi oshishi, suyuqlik to`ldirilib germetik yopib qo`yilgan boshqa va sisternalarning quyosh nurida qolganda yorilib ketishi, to`ldirilgan idishdagi suyuqlikning sirtidan oqib tushishi kabi hodisalarda kuzatish mumkin.

Suyuqlikning haroratdan (issiqlikdan) kengayish xususiyatidan foydalanib suyuqlik termometrlari va boshqa turli sezgir o`lchov asboblari yaratiladi. Suyuqlikning haroratdan (issiqlikdan) kengayishi temperatura koeffitsiyenti orqali ifodalanadi va β_i bilan belgilanadi.

1.1 - jadval.

Suvning hajmiy kengayish koeffitsiyenti β_i 1/grad

Bosim, MN/m ²	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	

Suyuqlikning temperaturasi $1^{\circ}C$ ga oshirilganda (birlik hajmdagi) kengaygan miqdori uning *hajmiy kengayish temperatura koeffitsiyenti* deyiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\beta_t = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t}, \left[\frac{1}{grad} \right]; \quad (1.5)$$

bunda $\Delta V = V - V_c$ –keyingi va boshlang`ich hajmlar farqi; $\Delta t = t - t_0$ – keyingi va boshlang`ich temperaturalar farqi;

Suyuqlikning haroratdan (issiqlikdan) kengayish koeffitsiyenti β_t juda kichik miqdor bo`lib, u suv uchun $\beta_t = 210^{-4} \frac{1}{grad}$, mineral moylar uchun $\beta_t = 710^{-4} \frac{1}{grad}$; simob uchun $\beta_t = 1810^{-5} \frac{1}{grad}$ teng.

4. Suyuqliklarning siqilishi. Gidravlik hisoblash ishlarida odatda suyuqliklarni siqilmaydi deb qaraladi, bu holat tomchilanuvchi suyuqliklar uchun o`rinli bo`ladi.

Ammo texnikada va tabiatda bosim juda katta bo`lgan holatda hajm o`zgarishi sezilarli miqdorda bo`ladi va uni hisobga olishga to`g`ri keladi.

Suyuqliklarning siqilishi *hajmiy siqilish koeffitsiyenti* orqali ifodalanadi va u β_p bilan belgilanadi (ba'zida β_v bilan ham belgilanadi). Birlik hajmdagi suyuqlikning bosimini bir birlikka oshirganda kamaygan miqdori hajmiy siqilish koeffitsiyenti deyiladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (1.6)$$

bunda $\Delta p = p - p_0$ – o`zgargan va boshlang`ich bosimlar farqi; β_p ham β_t kabi juda kichik miqdor bo`lib, suv uchun $\beta_p = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{MN}$ (MN - 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 $\beta_p \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{N}$

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

5. Solishtirma hajm. Suyuqlik hajmining og`irlikka nisbati solishtirma hajm deyiladi:

$$\nu = \frac{V}{G} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{N}} \right] \quad (1.7)$$

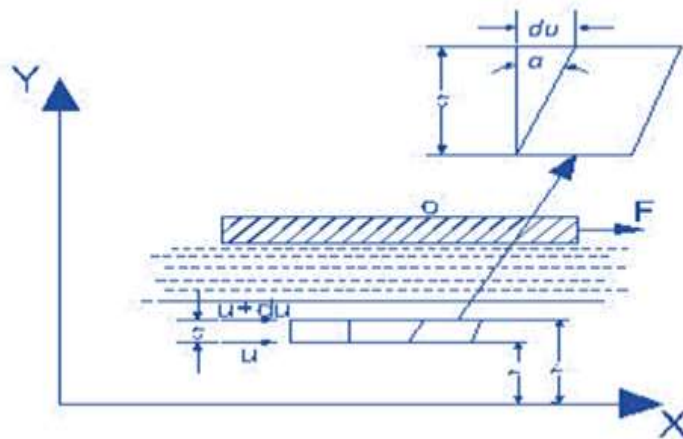
(1.3) va (1.7) formulalardan ma'lumki:

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

1.4 Qovushqoqlik (yopishqoqlik)

Suyuqliklarning qovushqoqlik hodisasi ularning harakati vaqtida yuzaga keladi va harakatlanayotgan zarracha harakatiga qarshilik sifatida namoyon bo`ladi. Bu qarshilikni yengish uchun ma'lum miqdorda kuch sarflash kerak bo`lib, qovushqoqlik qancha yuqori bo`lsa, sarflash kerak bo`lgan kuch ham shuncha katta bo`ladi. Qovushqoqlik miqdori dinamik va kinematik qovushqoqlik (yopishqoqlik) koeffitsiyentlari bilan ifodalanadi.

Dinamik qovushqoqligi. Suyuqlikni katta yuzaga ega bo`lgan idishga solib, uning yuziga biror plastinka qo`ysak va bu plastinkani ma'lum bir kuch bilan torta boshlasak, suyuqlik zarrachalari plastinka sirtiga yopishishi natijasida harakatga keladi (1.1 - rasm). Agar plastinkaning qo`yilgan F kuch ta'sirida olgan tezligi u bo`lsa, unga yopishib turgan zarrachalar ham u tezlikka ega bo`ladi. Idishning pastki devori harakatga 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 aytilgan sabablarga asosan uning pastki sirtida tezlik u_1 yuqorigi sirtida esa u_2 bo`ladi. Shunday qilib, olingan qatlamning qalinligi $\Delta y = y_2 - y_1$ bo`yicha suyuqlik tezligi $(u_2 - u_1) = \Delta u$ miqdorga o`zgaradi, ya'ni qatlamning yuqorigi sirti pastki sirtiga nisbatan siljib qoladi va qatlam 1.1 - rasmda ko`rsatilgandek deformatsiyalanadi. Siljish burchagini α deb belgilasak, siljish kattaligi $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta u}{\Delta y}$ bo`ladi. Qatlam qalinligini cheksiz kichraytirib differentsial belgilashga o`tsak, u holda yuqoridagi nisbat tezlik gradiyenti $\left(\frac{du}{dy}\right)$ ni beradi. Agar suyuqlik sirtidagi plastinkaga qancha ko`p kuch qo`ysak, siljish shuncha ko`p bo`ladi. Bu narsa qo`yilgan kuch bilan tezlik gradiyenti orasida qandaydir bog`lanish mavjudligini ko`rsatadi.



1.1 - rasm. Qovushqoqlik tushunchasiga doir chizma

Shunday qilib, suyuqliklardagi ichki ishqalanish kuchi tezlik gradiyentiga bogʻliq ekanligini tushunish mumkin.

1686 y. I.Nyuton ana shu bogʻlanishni chiziqli bogʻlanishdan 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 toʻgʻri proporsional, ya'ni:

$$F = \pm \mu S \frac{du}{dy} \quad (1.8)$$

Proporsionallik koeffitsiyenti μ Qovushqoqlik dinamik koeffitsiyenti deb qabul qilingan. Nyuton gipotezasi keyinchalik N.P.Petrov tomonidan nazariy asoslab berildi. Albatta, hisoblash ishlarini osonlashtirish uchun ishqalanish kuchining birlik yuzaga toʻgʻri kelgan miqdori yoki gidravlikada urinma kuchlanish (ishqalanish kuchidan kuchlanish) deb atalgan miqdorga oʻtish zarur boʻladi. Bu miqdorni grekcha τ harfi bilan belgilanadi:

$$\tau = \frac{F}{S} = \pm \mu \frac{du}{dy} \quad (1.9)$$

bu yerda: musbat va manfiy ishora tezlik gradiyentining yoʻnalishiga qarab tanlab olinadi.

Prof. K.Sh.Latipovning ishlarida urinma kuchlanish ikki tashkil etuvchining yigʻindisidan iborat deb qarash zarurligi koʻrsatildi:

$$l_p = \mu \frac{du}{dy} - \int \lambda_p (1 - \varphi_2) u dy + B \quad (1.10)$$

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

(1.9) formuladan koʻrinadiki, ishqalanish kuchidan kuchlanish tezlik gradiyentiga (yoki umumiyroq qilib aytganda tezlikning normal boʻyicha hosilasi) ga toʻgʻri proporsionaldir.

Qovushqoqlik koeffitsiyentining birligi SI da quyidagicha:

$$[\mu] = \frac{[\tau]}{[du]} = \frac{N \cdot s}{m^2}$$

SGS sistemasida esa $\frac{dinas}{m^2}$ bilan oʻlchanadi. Bu birlik Puaz (PZ) deb ham ataladi.

Koeffitsiyent juda kichik boʻlganda santipuaz (spz) va millipuaz (mpz) larda ham oʻlchanishi mumkin.

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

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.11)$$

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

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

Qovushqoqlik koeffitsiyentini aniqlash uchun viskozimetr deb ataluvchi asbob qoʻllaniladi. Suvga nisbatan yopishqoqligi katta boʻlgan suyuqliklar uchun

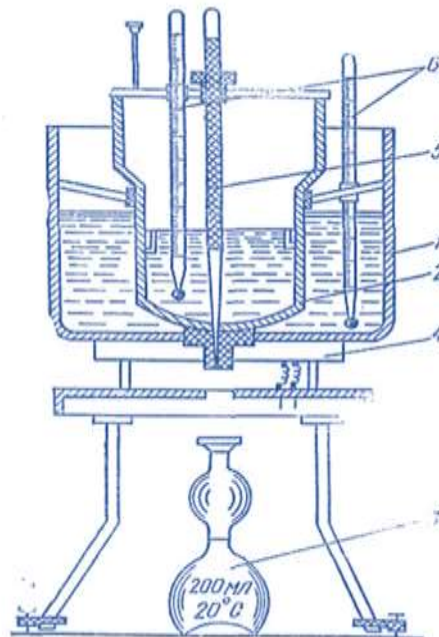
Engler viskozimetri qo`llaniladi (1.2-rasm). U birining ichiga ikkinchisi joylashgan 1, 2 ikki idishdan iborat bo`lib, ular orasidagi bo`shliq, suv bilan, to`ldiriladi. Ichki idish 2 ning sferik tubiga diametri 3 mm li naycha kavsharlangan, u tiqin 5 bilan berkitilgan bo`ladi.

Ichki idishga tekshirilayotgan suyuqlik quyilib, uning temperaturasi ikki idish oralig`idagi suvni qizdirish yo`li bilan zarur bo`lgan temperaturagacha yetkaziladi. Tekshirilayotgan suyuqlik temperaturasi termometr 6 yordamida o`lchab turiladi. Suyuqlik zarur temperatura t` gacha qizigandan so`ng tiqin ochiladi va sekundomer yordamida 200 sm³ suyuqlik 3 oqib chiqqan vaqt belgilanadi. Xuddi shunday tajriba t = 20°C da distillangan suv bilan ham o`tkaziladi. Tekshirilayotgan suyuqlikning t = 20°C dan oqib chiqqan vaqtlarining nisbati Qovushqoqlikning shartli graduslari yoki Engler graduslarini bildiradi:

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

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

$$\nu = \left(0,0731 {}^0 E - \frac{0,0631}{{}^0 E} \right) 10^{-4} \quad (1.12)$$



1.2 - rasm. Engler viskozimetri.

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

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

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

Havo uchun

$$v_t = (0,132 + 0,000918 t + 0,00000066 t^2) \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad (1.13)$$

Suv uchun

$$v_t = \frac{0,0177}{1 + 0,0337 t + 0,000221 t^2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \quad (1.14)$$

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

$$v_t = v_{50} \left(\frac{50}{t} \right)^n \quad (1.15)$$

bu yerda: v_t , v_{50} – tegishli temperaturada va 50°C da kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti; t - temperatura, °C da; n - daraja ko`rsatkichi; uning miqdori quyidagi jadvalda °E₅₀ ning turli miqdorlari uchun keltirilgan:

1.3 - jadval

°E ₅₀	1.2	1,5	1.8	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	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 qovushqoqligi boshlang`ich qovushqoqlik va temperaturasiga qarab turlicha o`zgaradi. Ko`pchilik suyuqliklarning qovushqoqligi bosim ko`tarilishi bilan ortadi. Mineral moylarning qovushqoqligi bosimning 0-50 MN/m² chegarasida taxminan chiziqli o`zgaradi va quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$v_p = v_0(1 + k_p p), \quad (1.16)$$

bu yerda: v_p va v_0 – tegishli bosimda va atmosfera bosimida kinematik qovushqoqlik koeffitsiyenti, p – qovushqoqlik o`lchangan bosim, MN/m²; k_p – eksperimental koeffitsiyent, uning miqdori gidroyuritmalarni hisoblashda yuqorida aytilgan chegarada 0,03 ga teng deb qabul qilinadi.

1.5 Sirt tarangligi (kapillyarlik)

Suyuqlik sirtidagi molekullarning 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 molekullari orasidagi o`zaro ta'sir kuchiga bog`liq.

Sirt taranglik kuchi Laplas formulasi bilan ifodalanadi:

$$P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (1.17)$$

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

O`xshash kapillyar idishlar uchun:

$$P = \frac{2\sigma}{r} \quad (1.18)$$

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

$$h = \frac{k}{d}, \text{ mm} \quad (1.19)$$

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

1.4 - jadval.

Ba'zi suyuqliklari uchun sirt taranglik koeffitsiyenti

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

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

1.6 Suyuqlik to`yingan bug`ining bosimi

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

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

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

Suyuqlik aralashmalarida esa suyuqlik tarkibidagi turli 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`ladi. 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`ladi.

1.7 Gazlarning suyuqlikda erishi. Kavitatsiya hodisasi haqida tushuncha

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

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

1.8 Ideal suyuqlik modeli

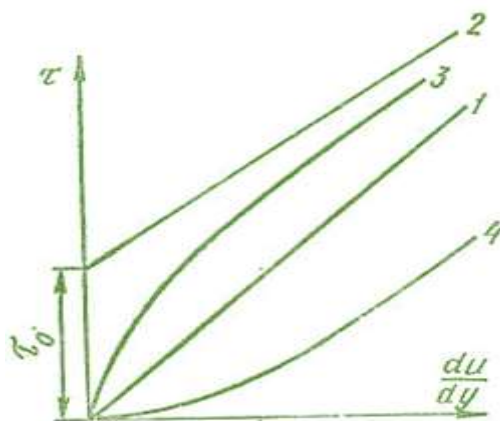
Suyuqliklarning harakati tekshirilganda, odatda, hamma kuchlarni hisobga olib bo`lmagani uchun, ularning suyuqlik muvozanati yoki harakati holatiga ta'siri katta bo`lganlarini saqlab qolib, ta'siri kichiklarini tashlab yuboramiz. Shu usul bilan suyuqliklar uchun ideal va real suyuqliklar modeli tuziladi. Hozirgi vaqtda suyuqlik harakatini ifodalovchi umumiy tenglamalar juda murakkab bo`lib, uni yechishni osonlashtirish uchun yuqorida aytilgandek soddalashtirishlar kiritiladi. Bunday soddalashtirishlar esa suyuqliklarning fizik xossalariga chegara qo`yadi va bu suyuqliklar ideal suyuqliklar deyiladi. Ideal suyuqliklar absolyut siqilmaydigan, issiqlikdan hajmi o`zgarmaydigan, cho`zuvchi va siljitivchi 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 – siljitivchi kuchga qarshilik ko`rsatish xossasi, ya'ni ichki ishqalanish kuchi bo`lib, uning bu xususiyatini qovushqoqlik degan tushuncha orqali

ifodalaniladi. Shunga asosan ideal suyuqliklarni noqovushoq (nevyazkiy), real suyuqliklarni esa qovushoq suyuqlik deyiladi.

1.9 Nyuton qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar

Yuqorida aytilganidek, suyuqliklarga ta'sir qiluvchi qovushoqlik kuchlanish kuchi tezlik gradiyentiga bog'liq bo'lib, Nyuton qonuni (1.11) bo'yicha bu bog'lanish chiziqli bo'ladi. Shuning uchun agar abstsissa o'qiga $\frac{du}{dy}$ ni, ordinata o'qiga τ ni qo'yib grafik chizsak, u holda bu grafikni ifodalovchi 1.3-rasmdagi 1 - chiziq (1.9) formulani ifodalaydi. Bu grafik bilan ifodalanuvchi, ya'ni Nyuton qonuniga bo'ysunuvchi suyuqliklar Nyuton suyuqliklari deyiladi.



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

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

$$\tau = f\left(\frac{du}{dy}\right)$$

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

1. Bingam suyuqliklari (plastik yopishqoq suyuqliklar). Bu suyuqliklar kichik kuchlanishlarda ozgina deformatsiyalanib, kuchlanish yo'qolsa, yana avvalgi holiga qaytadi. Kuchlanish kuchi τ biror τ_0 qiymatdan ohsa, harakat boshlanadi. Bingam suyuqliklari xuddi Nyuton suyuqliklari kabi harakatlanadi. Bu suyuqliklar uchun Nyuton qonuni o'rnida quyidagi qonun qo'llaniladi.

$$\tau = \tau_p + \eta \frac{du}{dy} \quad (1.20)$$

bu yerda: η – struktura yopishqoqligi deb ataladi. (1.20) formula bilan ifodalanuvchi qonun 1.3 - rasmdagi 2 - chiziqqa ega bo'ladi.

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

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

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

$$\tau = k \left(\frac{du}{dy} \right)^m \quad (1.21)$$

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

3. Dilatant suyuqliklar soxta plastik suyuqliklarga o'xshash bo'lib, ulardan tezlik gradiyenti ortganida μ_k o'sib borishi bilan farqlanadi (1.3 - rasm, 4 - chiziq), siljituvchi kuchlanish (1.21) formula bilan ifodalanadi. Dilatant suyuqliklarning soxta plastik suyuqliklardan farqi shundaki, ularda m doimo 1 dan katta bo'ladi. Dilatant suyuqliklar bingam va soxta plastik suyuqliklarga nisbatan kam uchraydi.

Bundan tashqari, τ va $\frac{du}{dy}$ o'rtasidagi bog'lanish vaqtga bog'liq bo'lgan suyuqliklar ham tabiatda uchrab turadi. Ularning yopishqoqlik koeffitsiyenti kuchlanishning 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 guruhlariga bo'linadi. Bu suyuqliklarning yana bir xususiyatlari shundan iboratki, ularning ba'zi turlari (maksvell suyuqliklari) qo'yilgan kuchlanish kuchi olinishi bilan avvalgi holatiga qisman qaytadi (ya'ni hozirgi zamon fanining tili bilan aytganda xotirlash xususiyatiga ega bo'ladi).

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma:

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

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

issiqlikdan kengayish harorat koeffitsiyenti.

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

Yechimi:

Siqilish va haroratdan kengayish formulalaridan foydalanib 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:

$$\beta_w P_1 = \beta_t t_1$$

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

1. bo'yicha nazorat savollari

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

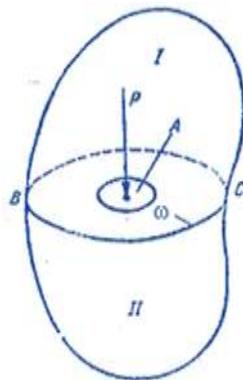
2-bo'lim. GIDROSTATIKA

Gidravlikaning suyuqliklar muvozanat qonunlarini o'rganib, ularni texnikaga tadbiiq qilish bilan shug'illanuvchi 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 jismlarning muvozanat qonunlarini ham o'rganadi.

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

2.1 Suyuqliklarda bosim

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

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

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

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

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

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

2.2 Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari

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

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

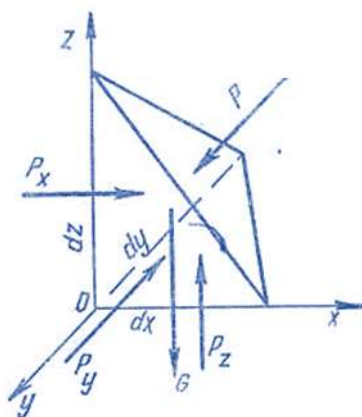
Urinma yo'nalishidagi proektsiya I va II qismlarining bir-biriga nisbatan siljishiga olib keladi (2.2 - rasm). Suyuqlik muvozanatda bo'lgani uchun bu hol yuz berishi mumkin emas. Bundan p normal bo'yicha yo'nalmagan degan fikr noto'g'ri ekanligi kelib chiqadi.

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

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

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

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



2.2-rasm. Bosimlarning xossalari doir chizma.

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

Oy o'qi bo'yicha

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

Oz o`qi bo`yicha

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

$d\omega$ yuzaning proyeksiyalari quyidagilarga teng:

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

Yuqoridagi tenglamalar qisqartirilgandan keyin quyidagicha yoziladi:

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

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

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

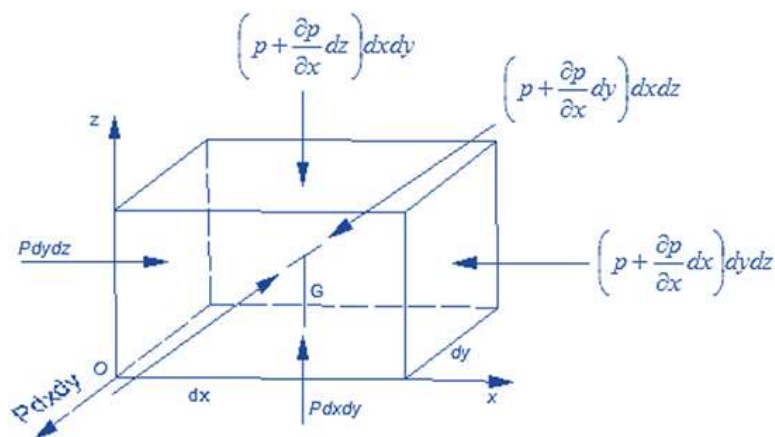
Shunday qilib, barcha yo`nalishlarda ta'sir qiluvchi bosim kuchlari teng ekanligi isbotlandi. Bu esa ikkinchi xossaning to`g`riligini ko`rsatadi.

2.3 Muvozanatdagi suyuqlikning differensial tenglamasi (Eylar differensial tenglamasi)

Muvozanat holatidagi suyuqliklarga bosim va og`irlik kuchlari ta'sir qiladi. Bosim suyuqlik egallagan hajmning har xil nuqtasida har xil qiymatga ega. Shuning uchun bosimni koordinata o`qlari x, y, z larning funktsiyasi deb qarash kerak. Ko`rilayotgan 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 proyeksiyalari $\rho X dV; \rho Y dV; \rho Z dV$ bo`lsin; ya'ni $G\{\rho X dV, \rho Y dV, \rho Z dV\}$. Elementar hajmning yOz tekislikda yotgan sirtiga Ox o`qi yo`nalishida p ga teng, unga parallel bo`lgan 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 $p dy dz$ va $\left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx\right) dy dz$ larga teng. Olingan elementar hajm Ox o`qi bo`yicha muvozanatda bo`lishi uchun bu o`q bo`yicha yo`nalgan kuchlar yig`indisi nolga teng bo`lishi kerak:

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

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



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

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

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

Shuningdek, Oz o`qi bo`yicha

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

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

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

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`rinib turibdiki, gidrostatik bosimning biror koordinata o`qidagi o`zgarishi zichlikning birlik og`irlik kuchining shu o`q yo`nalishidagi proyeksiyasiga ko`paytmasiga teng ekan, ya'ni muvozanatdagi suyuqliklarda bosimning o`zgarishi massa kuchlarga bog`liq. (2.2) tenglamalar sistemasi suyuqliklar muvozanat holatining umumiy differentsial 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 hadmahad qo'shib chiqamiz:

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

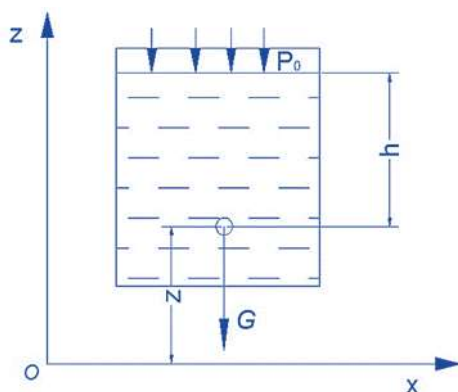
Bu tenglamaning chap tomoni bosimning to'liq differentsialini beradi, shuning uchun

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

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'rinli bo'lib, gazlar uchun qo'llanganda gaz holati tenglamalari bilan birgalikda ishlatiladi. (2.3) dan hamma nuqtalarida bir xil bosimga ega bo'lgan ($p = const$) sirtlarni topish mumkin. Bunday tekisliklar bosimi teng sirtlar deb ataladi. $p = const$ bo'lganda $dp = 0$ bo'ladi, ρ esa nolga teng bo'lishi mumkin emas. Shuning uchun bosimi teng sirtlar tenglamasi quyidagicha yoziladi:

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

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).



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

Bosimi teng sirtlar va erkin sirtlar uchun misollar sifatida og'irlik kuchi ta'siridagi idishda tinch turgan, tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan va aylanma harakat qilayotgan idishlardagi suyuqliklarni tekshiramiz.

2.5 Eyler tenglamasining integrallari

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

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

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

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

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

$$p = \rho h + p_0$$

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 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:

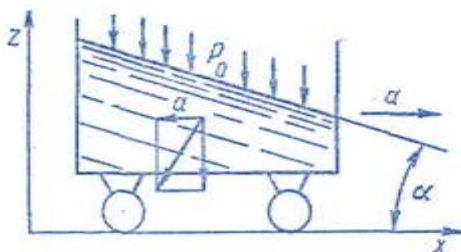
$$ax + gz = \text{const} \quad (2.6)$$

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

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

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

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



2.4 - rasm Tekis tezlanuvchan harakat qilayotgan idishdagi suyuqlik.

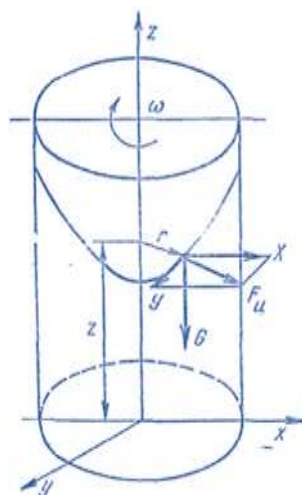
v) Aylanayotgan idishdagi suyuqlik.

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

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

Uning proyeksiyalari esa quyidagicha topiladi:

$$F_{ux} = m\omega^2 x, \quad F_{uy} = m\omega^2 y$$



2.5 - rasm Aylanayotgan jism ichidagi suyuqlik.

Shuning uchun birlik massa kuchlar quyidagilarga teng:

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

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

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

Uni integrallasak

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

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`rinib turibdi. Shunday qilib, bosimi teng sirtlar o`qi vertikal bo`lgan aylanma paraboloidlar oilasidan iborat. Bu sirtlar vertikal tekislik bilan kesishganda o`qi Oz da bo`lgan parabolalar, gorizont tekisliklar bilan kesishganda esa markazi Oz da bo`lgan kontsentrik aylanalar hosil qiladi.

2.6 Hidrostatikaning asosiy tenglamasi

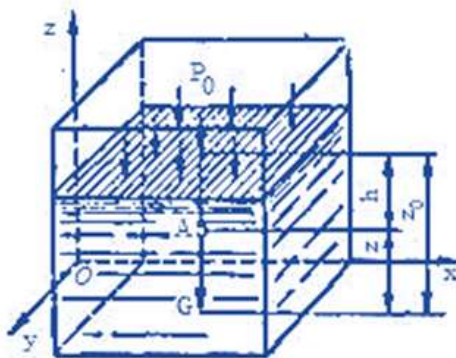
Tinch turgan idishdagi suyuqlikni qaraymiz. Bu suyuqlikka og`irlik kuchi ta'sir etadi. Koordinata o`qlarini Oz o`qi vertikal yuqoriga yo`naladigan qilib yo`naltiramiz (2.6 - rasm).

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

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

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:

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



2.6 - rasm. Hidrostatikaning 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 gorizontol sirtlar bo`yicha o`zgarmas degan fikrni tasdiqlaydi. Oxirgi tenglamani erkin sirtidan 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 olingan nuqtaning erkin sirtidan qanday masofada ekanligiga qarab aniqlaydi. Hidrostatikaning asosiy tenglamasi quyidagi qonuniyatni ifodalaydi: *suyuqlik ichidagi ixtiyoriy nuqtadagi bosim suyuqlik erkin sirtidagi, bosim p_0 va shu nuqtadagi suyuqlik ustunining bosimi (γ) yig`indisiga teng.*

2.7 Absolyut, manometrik, vakuummetrik va atmosfera bosimlari.

Suyuqlik ichidagi ixtiyoriy nuqtadagi (gidrostatikaning asosiy tenglamasi yordamida aniqlanadigan) bosim p shu nuqtadagi *absolyut bosim* deb ataladi. Suyuqlikning erkin sirtidagi bosim p_0 erkin sirtidagi absolyut bosimni beradi, γ

esa suyuqlik ustunining nuqtadagi bosimini beradi. Usti yopilgan idishlardagi, suv sig`imlaridagi suyuqliklarning erkin sirtiga ta'sir qiluvchi bosim atmosfera bosimi deb ataladi va p_a harfi bilan belgilanadi. Bu holda (2.8) tenglama quyidagicha yoziladi:

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

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

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

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

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

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

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

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`lchash uchun texnikada turli birliklar ishlatiladi:

1. Kuch birliklarining yuza birliklariga nisbati, masalan, N/m^2 ; kgK/m^2 ; kgK/sm^2 .
2. Suyuqlik ustunining balandliklari, masalan, mm suv. ust. - millimetr suv ustuni; m suv. ust. - metr suv ustuni, mm sim. ust.- millimetr simob ustuni.
3. Birlik yuzaga to`g`ri kelgan berilgan kuch miqdoriga nisbati yoki suyuqlik ustunining berilgan balandligi miqdorlari, masalan, texnik atmosfera (*atm*) ($1 atm = 1 kgK/sm^2 = 10^4 kgK/m^2 = 735,6 mm sim. ust.$) bar ($1 bar = 10^5 N/m^2$) va hokazo.

2.8 Bosim o`lchash asboblari

Bosim o`lchash asboblari ikki guruhga ajratiladi. Ular suyuqlik va mexanik asboblardir.

1. Suyuqlik asboblari:

a) *pezometrlar* - idishdagi bosim unga ulangan shisha naychada tekshirilayotgan suyuqlikning 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:

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

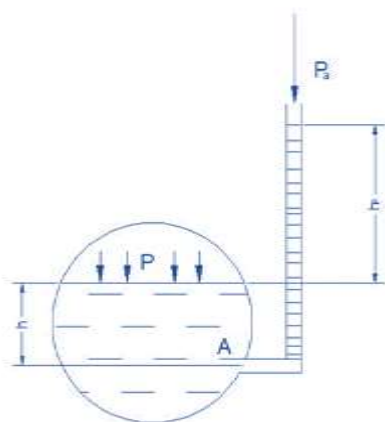
U holda pezometrda suyuqlik erkin sathining balandligi bosim orqali quyidagicha ifodalanadi:

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

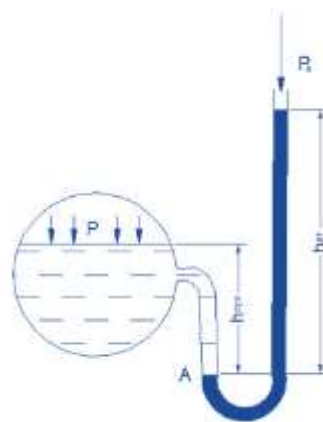
Bunday asboblarda 0,5 atm dan yuqori bo'lmagan kichik chegirma bosimlarni o'lchashda ishlatiladi. Haqiqatda ham 1 atm ga teng bo'lgan bosim 10 m suv ustunning balandligiga teng bo'lgani uchun yuqori bosimlarni o'lchashda juda uzun shisha naychalar ishlatishga to'g'ri kelgan bo'lar edi.

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 ulanadi. Bunda simobning bosimi o'lchanayotgan idishga oqib o'tishiga U - simon naychadagi qarshilik to'sqinlik qiladi. U holda A nuqtadagi bosim idish tomondagi qiymatlar orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$p_A = p + \gamma h_1$$



2.7 - rasm. Pezometr.



2.8 - rasm. U - simon manometr.

Simobli naychadagi qiymatlari orqali esa

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

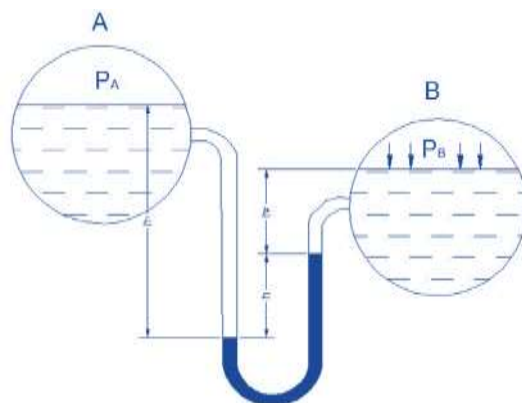
Bu ikki tenglikdan p ni topamiz:

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

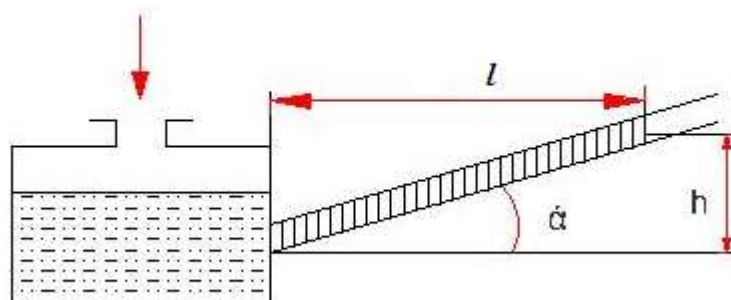
Bunday manometrlar ham bir necha atmosferadan ortiq bosimni o'lchashga yaramaydi.

v) *Differentsial manometrlar* - ikki idishdagi bosimlar farqini o'lchash uchun ishlatiladi (2.9 - rasm). Bosimlarni p_A va p_B ga teng bo'lgan ikki idish simobli U - simon naycha orqali tutashtirilgan. Bu holda C nuqtadagi bosim birinchi idishdan bosim orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$p_c = p_a + \gamma_1 h_1$$



2.9 - rasm. Differensial manometr.



2.10 - rasm. Mikromanometr

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

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

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

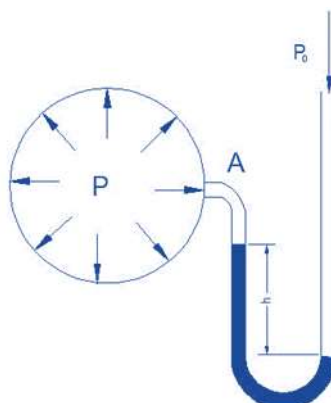
u holda

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

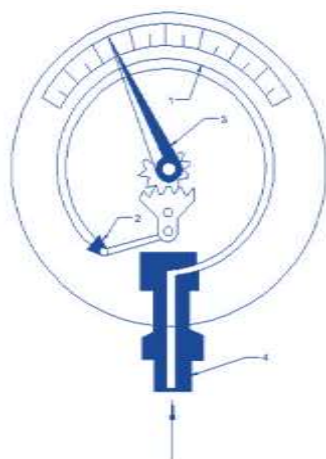
simob ustunining pasayishi idishdagi bosim va p_a orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$h_{sm} = \frac{P_a - P}{\gamma_{sm}}$$

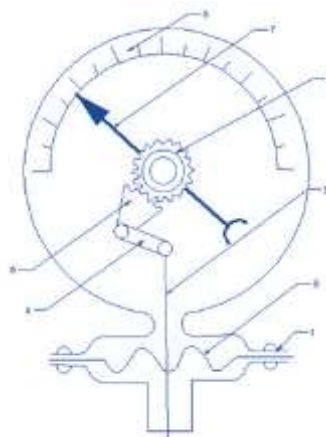
2. Mexanik asboblar (katta bosimlarni o'lchash uchun ishlatiladi va buning uchun turli mexanik sistemalardan foydalaniladi):



2.11 - rasm. Vakuummeter



2.12 - rasm. Prujinali manometr.



2.13 - rasm. Membranali 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.

Ikkinchi 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 shimdirilgan 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. Bosim o'lchash asboblarning zamonaviy ko'rinishlari va qollanilishi (2.13.1 - rasm)

Bosim o'lchash asboplari



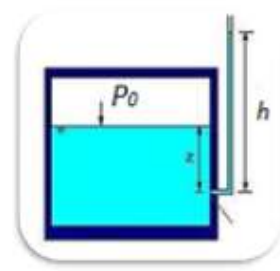
Manometr



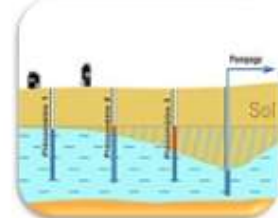
Vakuummeter



Mano-vakuummeter



P'zometr



2.13.1 - rasm. Bosim o'lchash asboplarining zamonaviy ko'rinishlari va qollanilishi

2.9 Paskal qonuni

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

$$p_A = p_0 + \gamma h_A$$

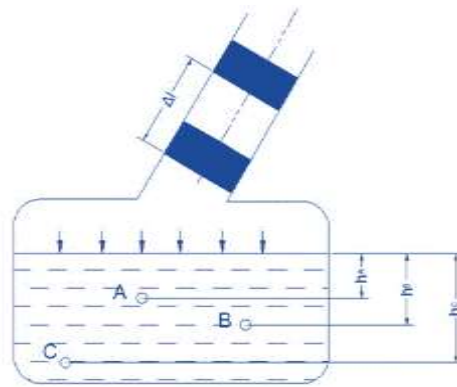
B va C nuqtalarda esa

$$p_B = p_0 + \gamma H_B$$

$$p_C = p_0 + \gamma H_C$$

Agar porshenni Δl masofaga (2.14 - rasm) siljitsak, u holda suyuqlik erkin sirtidagi bosim Δp ga o'zgaradi. Suyuqlikning 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'ladi, ya'ni

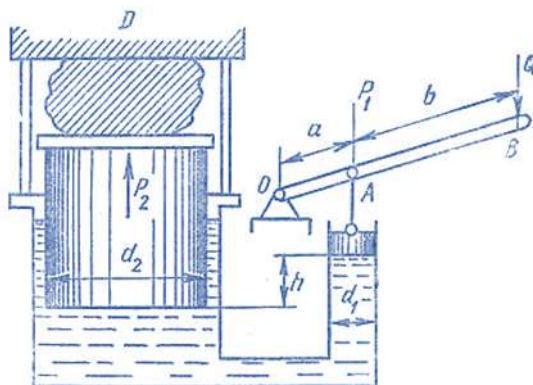
$$\left. \begin{aligned} p'_A - p_A &= \Delta p \\ p'_B - p_B &= \Delta p \\ p'_C - p_C &= \Delta p \end{aligned} \right\}$$

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

2.10 Hidrostatik mashinalar

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

a) Hidropresslardan (2.15 - rasm) gidrostatik qonunlar asosida katta kuchlar hosil qilish uchun foydalaniladi. Bu narsa presslash, shtamplash, toblash, materiallarni sinash va boshqa ishlar uchun kerak. Ular ikki xil diametrli o'zaro tutashirilgan ikki silindrdan 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 porshen bilan D devor o'rtasiga presslanuvchi buyum qo'yiladi. Richag qo'l bilan yoki dvigatel yordamida harakatga keltiriladi. Kichik porshen kuch ta'sirida pastga qarab siljiydi va suyuqlikka bosim beradi. Bu bosim katta silindrga ham tarqaladi va natijada katta porshen harakatga keladi. Bunday harakat katta porshen ustidagi buyum devor D ga taqalguncha davom etadi. Porshenning bundan so'nggi ko'tarilishi natijasida buyum siqila boradi va u presslanadi.



2.15 - rasm. Hidroressning 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, gidroresslarda kuchlarning munosabatini topamiz. OAB richagining B uchiga Q kuch qo'yilgan bo'lsin. U holda kuch momenti uchun quyidagi tenglamani olamiz:

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

Bu tenglamadan kichik porshenga ta'sir qiluvchi kuchni topamiz:

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

u holda kichik porshen ostidagi suyuqlik bosimi

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

ga teng bo'ladi. Katta porshen ostidagi bosim esa

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

bu yerda: h porshenlarning ostki sirtlari orasidagi geometrik masofa. Natijada katta porshenga ta'sir qiluvchi kuch quyidagicha topiladi:

$$P_2 = (p + \gamma h) \omega_2 = \left(\frac{a+b}{b} \frac{4Q}{\pi d_1^2} + \gamma h \right) \frac{\pi d_2^2}{4}. \quad (2.21)$$

Ko'pgina hollarda gidroresslarda gidrostatik bosim juda katta bo'lgani uchun γh 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, gidroresslarda juda ko'p yordamchi qismlar bo'ladi. Amalda gidroresslarda 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:

$$P_2^1 = \frac{a+b}{b} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 Q \eta. \quad (2.23)$$

bu yerda: η yuqorida aytilgan xatoliklarni o'z ichiga oluvchi koeffitsiyent bo'lib, uni foydali ish koeffitsiyenti deb ataladi. Amalda bu koeffitsiyent 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'shimcha qiyinchiliklar tug'diradi. Hozirgi vaqtda mavjud gidroresslarda 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 foydalaniladi. Ular suyuqlik sarfi yoki bosim ortib ketganda yuqori bosimli suyuqlikning bir qismini o'z ichiga olib, sistemada bosim va sarfni kamaytirilsa, teskari holda o'zidagi suyuqlikni sistemaga berish yo'li bilan bosimni va sarfni oshiradi. Gidroakkumulyatorlar gidrotormozlarda, ko'targichlar, presslar, shig'irlar va boshqa gidravlik tizimlarda qo'llaniladi.

Potensial energiyaning 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 plunjer pastga tushib suyuqlik silindrdan 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 3 esa gazning rezina diafragmani korpusga bosib (akkumulyatorida 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:

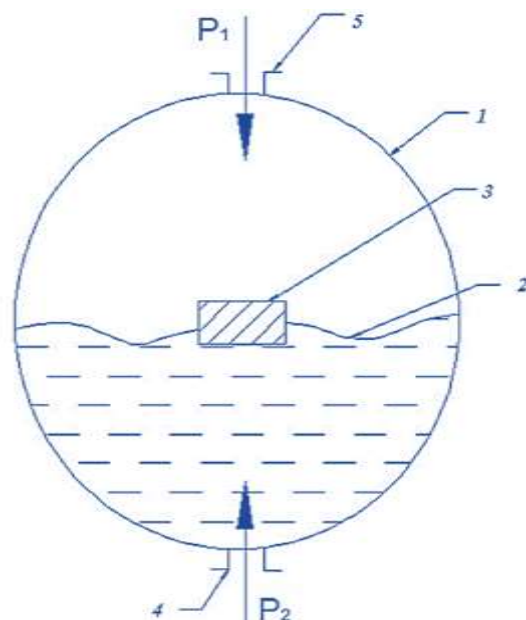
$$p = \frac{(p_1 - p_2)\omega + F_2}{\omega}. \quad (2.25)$$

Bu holda haqiqiy bajarilgan ish

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

bu yerda: η – gidroakkumulyatorning foydali ish koeffitsiyenti.

Gidrosistemadan gidroressga 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'rinli bo'ladi.

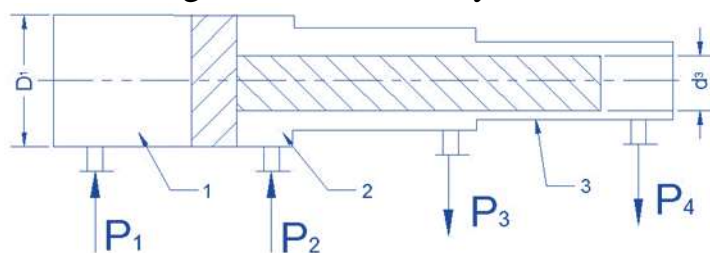


2.16 - rasm. Pnevmatik gidroakkumulyatorning sxemasi.

v) **Gidromultiplikatorlar** gidrosistemadagi bosimni, uning biror qismida oshirib berish uchun foydalaniladi. Bu vazifa ko'p hollarda xususan gidroakkumulyatorlar yetarli bosimni ta'minlab berolmaganda muhim ahamiyatga ega. 2.17 - rasmda gidromultiplikatorning soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan. U differentsial silindrda harakatlanuvchi differentsial 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:

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

bu yerda: η_g – gidravlik qarshiliklarini hisobga oluvchi koeffitsiyent; η_{mex} – mexanik qarshiliklarni hisobga oluvchi koeffitsiyent.



2.17 - rasm. Hidromultiplikatorning chizmasi.

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

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma:

1 - 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:

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

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

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

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

$$a = \operatorname{arctg} \frac{a}{g} = \operatorname{arctg} \frac{6}{9,81} \approx 31^\circ$$

2 - masala. Diametri $D=2,0$ m ga teng bo'lgan silindrsimon bakka $H=1,5$ m gacha suv va benzin quyilgan. Pezometrdagi suv sathi benzin sathidan $h=300$ mm past. Bakdagi benzin og'irligini aniqlang, benzin zichligi $\rho_6=700 \text{ kg/m}^3$

Yechimi:

1. Hidrostatikaning asosiy tenglamasiga asosan A nuqtadagi bosim

$$P_A = P_a + \rho_6 g h_1 + \rho g h_2$$

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

Tenglamaning o'ng tomonlarini tenglashtirib, h ni aniqlaymiz:

$$\rho_6 g h_1 + \rho g h_2 = \rho g (H - h)$$

Ma'lumki,

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

u holda

$$h_1 (\rho_6 g - \rho g) = \rho g h$$

$$h_1 = \frac{\rho g h}{\rho g - \rho_6 g} = \frac{\rho h}{\rho - \rho_6} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,3 \text{ m}}{300 \text{ kg/m}^3} = 1,0 \text{ m}$$

2. Bakdagi benzin og'irligi:

$$G = \rho_6 g W = \rho_6 g \frac{\pi d^2}{4} \cdot h_1 = 22 \text{ kH}$$

3 - masala. Agar simobli asbobning ko'rsatishi $h=363$ mm, balandligi $h=1,0$ m bo'lsa idishdagi havoning absolyut bosimini aniqlash kerak (2.18-rasm). Simobning zichligi $\rho_s=13600 \text{ kg/m}^3$. Atmosfera bosimi 736 mm simob ustuniga teng

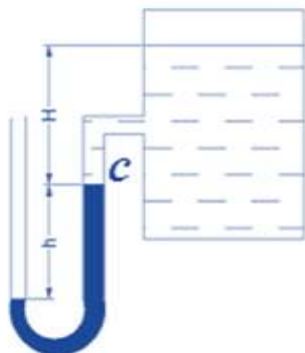
Yechimi:

1. (1.2) formuladan C nuqtadagi bosim

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

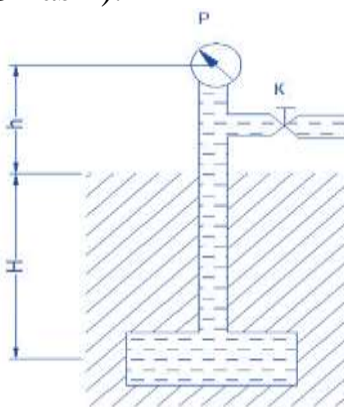
2. Suyuqlik sathidagi bosim

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



2.18 – rasm. Amaliy mashg'ulotga doir

4-masala. Agar $h=1,7$ m balandlikda qo'yilgan vakuummetrning ko'rsatgichi $P_v=0,12$ mPa bo'lib, atmosfera bosimi $h_a=740$ mm simob ustuniga va benzin zichligi $\rho_b=700$ kg/m³ bo'lsa, $H=5$ m chuqurlikka o'rnatilgan rezervuardagi absolyut bosimni aniqlang (2.19-rasm).



2.19 - rasm. Amaliy mashg'ulotga doir

Yechimi:

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

$$P_A = P_a - P_v$$

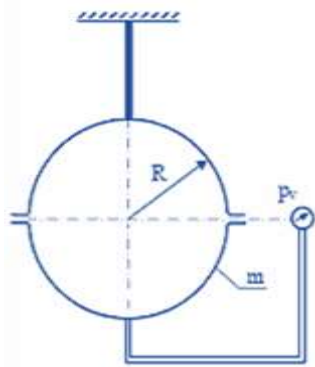
$$P_A = P_a - P_v = 0,8 \text{ at} = 0,08 \text{ MPa}$$

2. C nuqtadagi absolyut bosimni quyidagi formula yordamida hisoblaymiz:

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

Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Suv bilan to'ldirilgan (2.20-rasm), radiusi $R = 0.4$ m bo'lgan shar shiftga osib qo'yilgan. Yarim sharning massasi $m = 150$ kg bo'lsa sharning markazidagi vakuummetrik bosimni aniqlang?



2.20 – rasm. Amaliy mashg’ulotga doir

Berilgan:

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

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

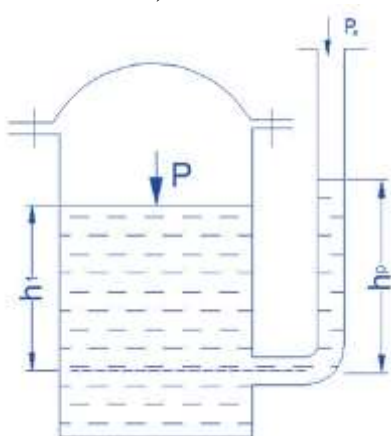
$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$p_v = ?$$

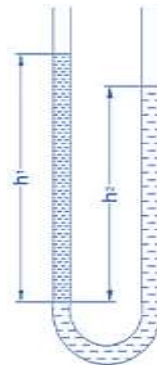
2. Idish tubidagi to‘la gidrostatik bosimni toping. Idishning usti ochiq bo‘lib, uning erkin sirtidagi bosim atmosfera bosimiga teng.

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

3. Yopiq idishga o‘rnatilgan pezometrda 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. (2.21 - rasm).



2.21 - rasm. Amaliy mashg’ulotga doir



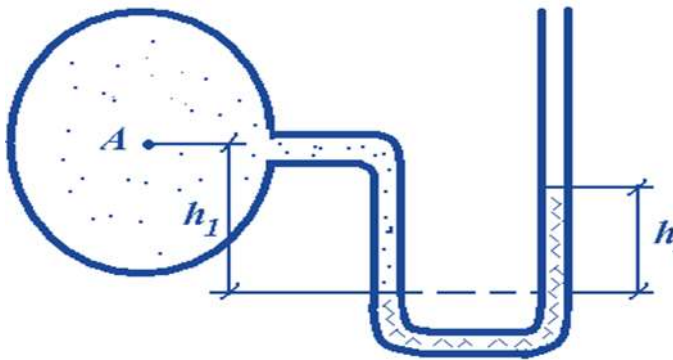
2.22 - rasm. Amaliy mashg’ulotga doir

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

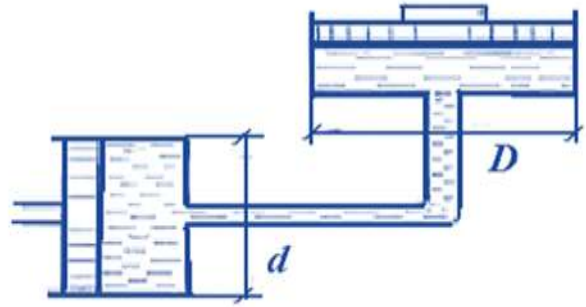
5. U – shakldagi idishga benzin va suv quyilgan. Agar $h_1 = 70 \text{ sm}$; $h_2 = 50 \text{ sm}$ bo‘lsa, benzin zichligini aniqlang (2.22 - rasm).

6. A quvurdagi suvning manometrik bosimini toping. Pezometrda simob ustuni balandligi $h_2 = 25 \text{ sm}$ va $h_1 = 40 \text{ sm}$. (2.23 - rasm).

7. Agar katta porshenga qo‘yilgan kuch $F_2 = 50 \text{ kN}$, kichik porshenga qo‘yilgan kuch $F_1 = 20 \text{ kN}$ bo‘lsa, tizim muvozanatda bo‘lishi uchun h ni aniqlang. Naylar suv bilan to‘ldirilgan (2.24 - rasm).



2.23 – rasm. Amaliy mashg'ulotga doir



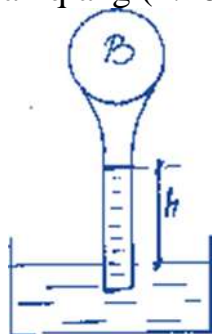
2.24 – rasm. Amaliy mashg'ulotga doir

8. Balondagi $-V$ vakuum va absolyut bosimni toping. Vakuummetrning ko'rsatishi $h=0,7\text{m}$ suv ustuniga teng (2.25 - rasm).

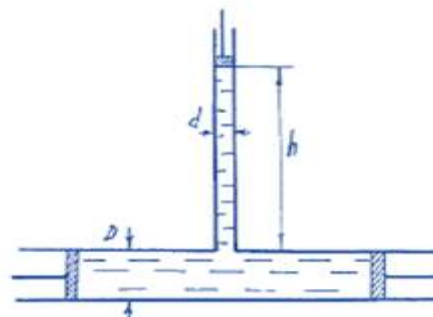
9. V-idishdagi vakuummetrik bosim $P_B=0,5$ at; suyuqlikning zichligini aniqlang, agar $h = 0,7$ m; $P_a = 760$ mm simob ustuniga teng bo'lsa (2.25 - rasm).

10. Rasmda ko'rsatilganidek $D = 500$ mm li quvur $d = 100$ mm li quvurga ulangan. Suv ustunining balandligi $h = 80$ sm. Quvurlarga porshen o'rnatilgan. Tizim muvozanatda bo'lishi uchun S porshenga $F_1 = 9,81$ N kuch qo'yilgan bo'lsa, A va B porshenlarga qanday F_2 kuch qo'yilishi kerak. Porshen va quvur orasidagi ishqalanish hisobga olinmasin (2.26 - rasm).

11. Agar porshenlarga qo'yilgan kuchlar $F_2 = 60$ kN; $F_1 = 20$ kN bo'lsa, h ni miqdorini aniqlang (2.26 - rasm).



2.25 – rasm. Amaliy mashg'ulotga doir



2.26 – rasm. Amaliy mashg'ulotga doir

2.11 Tekis sirtga ta'sir qiluvchi bosim kuchi

a) **Gidrostatik g'ayritabiiylik (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:

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

Suyuqlik tubidagi bosim kuchi esa

$$P = \gamma h \omega$$

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

2-24 - rasmda har xil shakldagi idishlar tasvirlangan va barcha idishlardagi suyuqlikning chuqurligi h ga, idish tubining sirti esa ω ga teng.

Bu holda idish tubiga bo'lgan bosim kuchi idishlarda

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

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

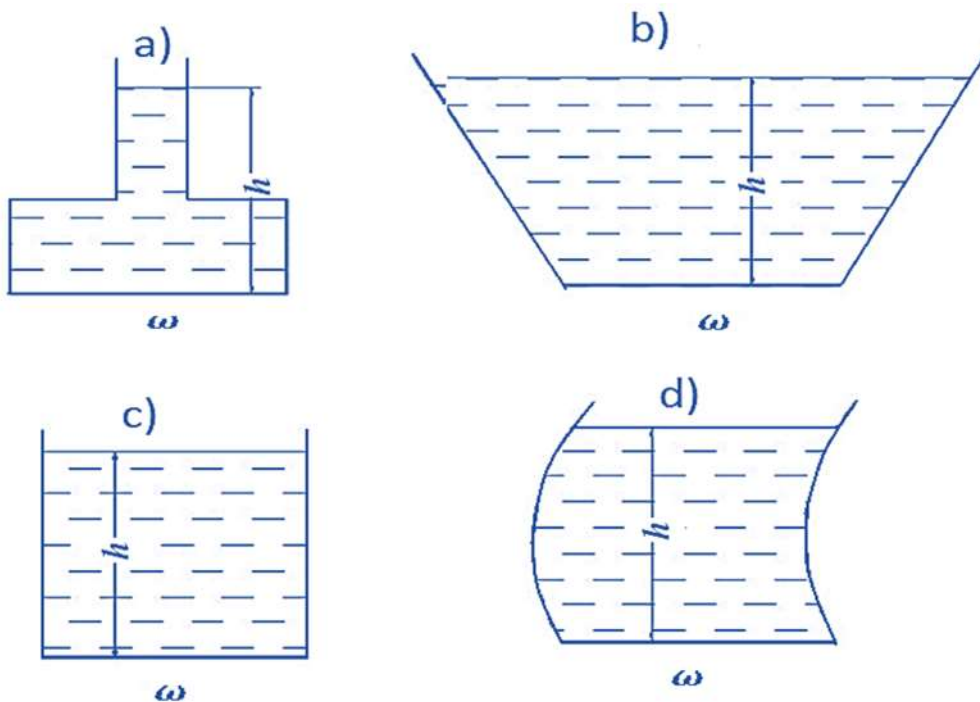
$$P = \gamma h \omega$$

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.

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

Ana shu hodisalar gidrostatik g'ayritabiiylikning mohiyatini ochib beradi.



2.24 - rasm. Gidrostatik paradoksga doir chizma

b) Suyuqlikning tekis sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchi.

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

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

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

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

agar

$$h = y \sin \alpha$$

ekanligini hisobga olsak:

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

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

Statik moment haqidagi tushunchaga asosan

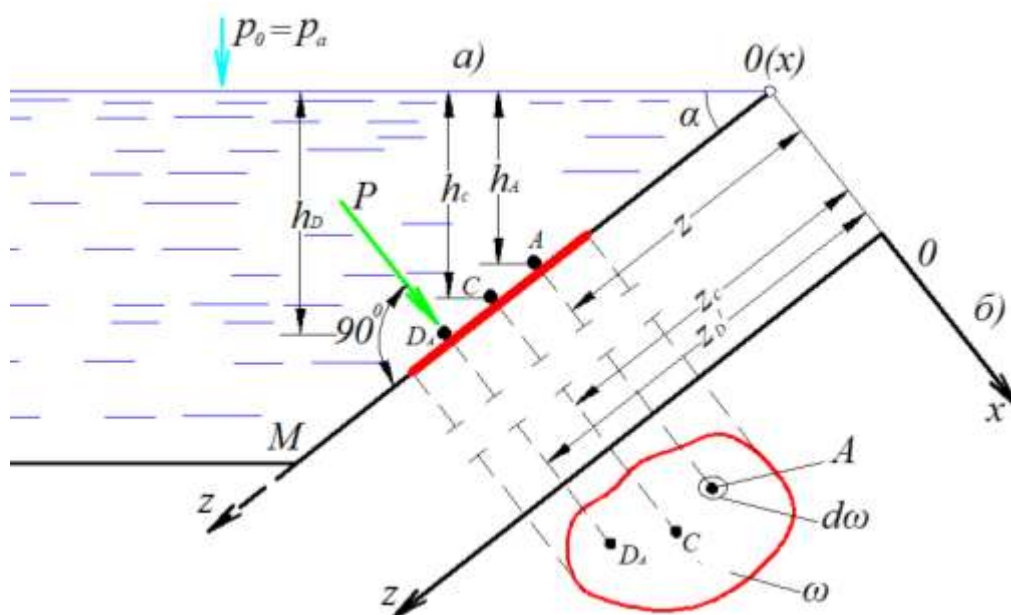
$$\int_{(\omega)} y d\omega = \omega y_{O.M.},$$

bu yerda: y - og'irlik markazining koordinatasi. Rasmdan ko'rinib turibdiki,

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

demak,

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



2.25 - rasm. Qiya sirtga tushadigan bosimni hisoblashga doir chizma

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

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

bo'ladi, bu yerda chegirma bosim kuchi quyidagicha teng:

$$P_u = \gamma h_{oM} \omega \quad (2.32)$$

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

$$P_a = p_0 \omega$$

va chegirma bosim kuchi

$$P_u = \gamma h_{oM} \omega$$

yig'indisiga teng bo'ladi. Birinchi kuch yuzaning og'irlik 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 koordinatasi $y_{b.M}$ ga teng deb hisoblab, ω sirtga ta'sir qilayotgan momentni aniqlaymiz:

$$P \cdot y_c = \int_{(\omega)} dPy = \int_{(\omega)} \gamma h d\omega y \quad (2.33)$$

Rasmdan

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

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

$$\omega \cdot y_{o.M.} \cdot y_{b.M.} = \int_{(\omega)} y^2 d\omega = I_x \quad (2.34)$$

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

momenti.

U holda (2.34) dan bosim markazini topamiz:

$$y_{b.M.} = \frac{I_x}{\omega \cdot y_{o.M.}} \quad (2.35)$$

Inertsia momentini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I_x = I_{o.M.} + \omega \cdot y_{o.M.}^2, \quad (2.36)$$

bu yerda: $I_{o.M.}$ – ko'rilayotgan yuzaning uning og'irlik markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inertsia momenti.

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

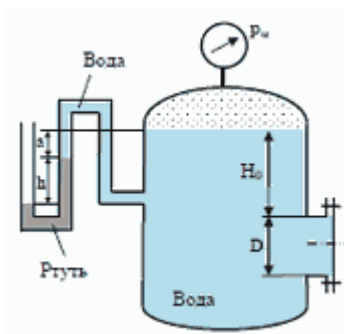
$$y_{b.m.} = y_{oM} + \frac{I_{o.M.}}{\omega \cdot y_{oM}} \quad (2.37)$$

Bu tenglamadan ko`rinadiki, bosim markazi ko`rilayotgan qiya sirt og`irlik markazidan $\frac{I_{o.M.}}{\omega \cdot y_{oM}}$ 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'ulotlarga doir ko'rsatma:

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

1. Diametri $D= 1m$. Manometr ko'rsatgichi $P_m = 0.08$ MPa $H_0 = 15m$.



Berilgan

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

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

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

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

2.26 – rasm. Amaliy mashg'ulotga doir

Yechish

Birinchi holat uchun.

- 1) Qopqoqning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

- 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

$$F = P_c \cdot \omega = 100 \cdot 0,785 = 78,5 \text{ kN}$$

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

Yeshimi:

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

Formuladan ixtiyoriy nuqtadagi bosim:

$$p_c = p_0 + \rho g h_c$$

bu yerda: p_0 – tashqi bosim, $p_0 = p_m + p_a$

U holda

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

2. Tekis shakl yuzasini aniqlaymiz:

$$\omega = ba$$

3. Hidrostatik bosim kuchini aniqlaymiz:

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

Berilgan qiymatlarni qo‘yib, gidrostatik bosim kuchini hisoblaymiz:

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

4. Bosim markazini aniqlaymiz:

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

bu yerda:

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

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

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

Endi bosim markazini aniqlashni boshqa hollarda ham ko‘ramiz.

3 – Masala. 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

$$h_d = z_d \sin \alpha = 2,17m$$

Bunday hollarda bosim markazini aniqlashning bir qulay usuli bor (Mazkur usul mualliflar tomonidan taklif qilingan). Burchak ostida joylashgan tekis shakl

vertikal tekislikka proyeksiyalanib, bosim markazi (2.37) formula bilan hisoblanadi:

$$h_d^x = h_c^x + \frac{J_0^1}{h_c^x \omega^1}$$

bu yerda: J_0^1 – tekis shakl proyeksiyasining inertsiya momenti;

ω^1 – tekis shaklning vertikal tekislikka proyeksiyasi.

U holda,

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

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

Aniqlansin:

a) Trossdagi kuchlanish (zatvor og'irligi hisobga olinmasin)

b) 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:

1) Zatvorning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{H}{2} = 10 \cdot \frac{2,3}{2} = 10 \cdot 1,15 = 11,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzani aniqlaymiz.

$$\omega = L \cdot B = 2,5 \cdot 10 = 25 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P = p_c \cdot \omega = 11,5 \cdot 25 = 287,5 \text{ kN}$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz

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

$$Z_c = \frac{H}{2} \cdot \frac{L}{H} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ m}$$

$$\omega = 2,5 \text{ m}^2$$

$$J = \frac{B \cdot L^2}{12} = \frac{10 \cdot 2,5^3}{12} = 13$$

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

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

$$T = \frac{P \cdot (L - Z_d)}{L} = \frac{287,5 \cdot (2,5 - 1,66)}{2,5} = 96,6 \text{ kN}$$

6) Sharnirdagi R reaksiya kuchini aniqlaymiz.

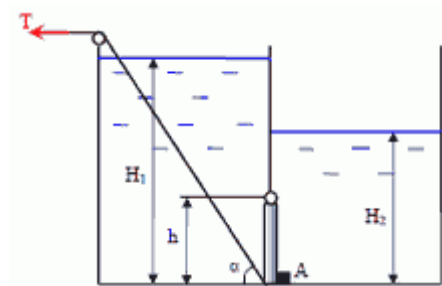
$$\sum M_0 = 0$$

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

$$R = \frac{P \cdot Z_d}{L} = \frac{287,5 \cdot 1,66}{2,5} = 191 \text{ kN}$$

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

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



Berilgan:

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

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

$$\alpha = 60$$

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

2.27-rasm. Amaliy mashg‘ulotga doir

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

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

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

Yechish:

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

$$P_{c1} = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \left(H_1 - \frac{h}{2} \right) = 10 \cdot 1,4 = 14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_1 = h \cdot b = 0,4 \cdot 0,8 = 0,32 \text{ m}^2$$

3) Ta‘sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_1 = p_{c1} \cdot \omega_1 = 14 \cdot 0,32 = 4,48 \text{ kN}$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d1} = h_{c1} + \frac{J_1}{h_{c1} \cdot \omega_1}$$

$$h_{c1} = 1,4 \text{ m}; \quad \omega_1 = 0,32 \text{ m}^2.$$

$$J_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,8 \cdot 0,4^3}{12} = 0,0042$$

$$h_{d1} = 1,4 + \frac{0,0042}{1,4 \cdot 0,32} = 1,409 \text{ m}$$

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

$$p_{c_2} = \gamma \cdot h_{c_2} = \gamma \cdot (H_2 - \frac{h}{2}) = 10 \cdot (1 - \frac{0,4}{2}) = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ kN} / \text{m}^2$$

6) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_2 = h \cdot b = 0,4 \cdot 0,8 = 0,32 \text{ m}^2$$

7) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_2 = p_{c_2} \cdot \omega_2 = 8 \cdot 0,32 = 2,56 \text{ kN}$$

8) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d_2} = h_{c_2} + \frac{J}{h_{c_2} \cdot \omega_2}$$

$$h_{c_2} = 0,8 \text{ m}; \omega_2 = 0,32 \text{ m}^2$$

$$J_2 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,8 \cdot 0,4^3}{12} = 0,0042$$

$$h_{d_2} = 0,8 + \frac{0,0042}{0,8 \cdot 0,32} = 0,816 \text{ m}$$

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

$$T \cdot h \cdot \cos \alpha - P_1 \cdot [h_{d_1} - (H_1 - h)] + P_2 \cdot [H_2 - h] = 0$$

$$T = \frac{P_1 \cdot [h_{d_1} - (H_1 - h)] + P_2 \cdot [H_2 - h]}{h \cdot \cos \alpha} = \frac{14 \cdot [1,409 - (1,6 - 0,4)] - 8 \cdot [0,816 - (1 - 0,4)]}{0,4 \cdot 0,5} =$$

$$= \frac{14 \cdot 0,209 - 8 \cdot 0,216}{0,2} = \frac{2,926 - 1,728}{0,2} = \frac{1,198}{0,2} = 6 \text{ kN}$$

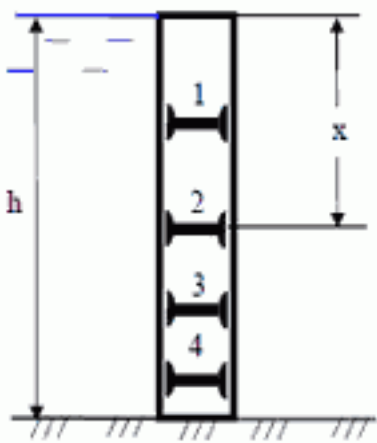
10) A nuqtadagi reaksiya kuchini aniqlaymiz.

$$\sum M_0 = 0$$

$$R_A \cdot h - P_1 \cdot [h_{d_1} - (H_1 h)] + P_2 \cdot [h_{d_2} - (H_2 - h)] = 0$$

$$R_A = \frac{P_1 \cdot [h_{d_1} - (H_1 h)] - P_2 \cdot [h_{d_2} - (H_2 - h)]}{h} = \frac{2,926 - 1,728}{0,4} = \frac{1,198}{0,4} = 4,95 \text{ kN}$$

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



6 – 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:

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

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

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

$$x = ?$$

2.27-rasm. Amaliy mashg'ulotga doir

Yechish:

- 1) Shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz

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

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

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

- 3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

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

- 4) Bosim markazini aniqlaymiz.

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

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

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

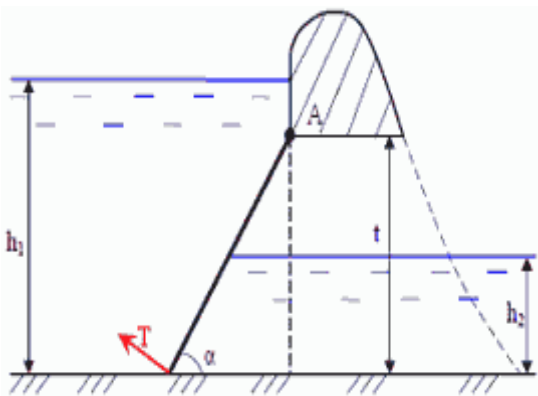
$$h_d = 2 + \frac{4}{2 \cdot 24} = 2,083 \text{ m} \rightarrow h_d = X = 2,083 \text{ m}$$

Javob: $X = 2,083 \text{ m}$

7 – Masala. To'g'onning suv chiqish qismida eni $b = 6 \text{ m}$ bo'lgan shit o'rnatilgan. 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. Shitning og'irligi $G = 100 \text{ kH}$.

Aniqlanishi kerak.

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

**Berilgan**

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

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

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

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

$$\alpha = 45^\circ$$

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

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

Yechish:

- 1) Yuqori b'efdan shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_{c1} = \gamma \cdot h_{c1} = \gamma \left[(h_1 - t) + \frac{t}{2} \right] = 10 \cdot \left[(23 - 17,25) + \frac{17,25}{2} \right] = 10 \cdot 14,25 = 142,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_1 = \frac{t}{\sin \alpha} \cdot b = \frac{17,5}{0,707} \cdot 6 = 148,5 \text{ m}^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_1 = p_{c1} \cdot \omega_1 = 142,5 \cdot 148,5 = 21161,25 \text{ kN}$$

4) Pastki b'efdand shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_{c2} = \gamma \cdot h_{c2} = \gamma \cdot \frac{h_2}{2} = 10 \cdot \frac{11,5}{2} = 57,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

5) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_2 = \frac{h_2}{\sin \alpha} \cdot b = \frac{11,5}{0,707} \cdot 6 = 97,9 \text{ m}^2$$

6) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_2 = p_{c2} \cdot \omega_2 = 57,5 \cdot 97,6 = 5612 \text{ kN}$$

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

$$\sum_x = P_{um} = P_1 - P_2 = 21161,25 - 5612 = 15549,25 \text{ kN}$$

8) Yuqori b'efdagi bosim markazini aniqlaymiz.

$$Z_{d1} = Z_{c1} + \frac{J}{Z_{c1} \cdot \omega_1}$$

$$Z_{c1} = \frac{h_{c1}}{\sin \alpha} = \frac{14,25}{0,707} = 20,15 \text{ m}$$

$$\omega_1 = 148,5 \text{ m}^2$$

$$J_1 = \frac{b}{12} \cdot \left(\frac{t}{\sin \alpha} \right)^3 = \frac{6}{12} \cdot \left(\frac{17,25}{0,707} \right)^3 = 0,5 \cdot 14524,7 = 7262,38$$

$$Z_{d1} = 20,15 + \frac{7262,68}{20,15 \cdot 148,5} = 22,57 \text{ m}$$

9) Pastki b'efdagi bosim markazini aniqlaymiz.

$$Z_{d2} = Z_{c2} + \frac{J}{Z_{c2} \cdot \omega_2} = 8,13 + \frac{2151,8}{8,13 \cdot 97,6} = 10,84 \text{ m}$$

$$Z_{c2} = \frac{h_{c2}}{\sin \alpha} = \frac{5,75}{0,707} = 8,13 \text{ m}$$

$$\omega_2 = 97,6 \text{ m}^2$$

$$J = \frac{b}{12} \cdot \left(\frac{h_2}{\sin \alpha} \right)^3 = \frac{6}{12} \cdot \left(\frac{11,5}{0,707} \right)^3 = 0,5 \cdot 4303,6 = 2151,8 \text{ m}$$

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

$$\sum M_0 = 0$$

$$P_{um} l = P_1 \cdot \left[Z_{d1} - \left(\frac{h_1 - t}{\sin \alpha} \right) \right] - P_2 \cdot \left[Z_{d2} + \left(\frac{t - h_2}{\sin \alpha} \right) \right]$$

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

$$= \frac{21161,25 \cdot [22,57 - (\frac{23,5 - 17,25}{0,707})] - 5612 \cdot [10,84 + (\frac{17,25 - 11,5}{0,707})]}{15549,25}$$

$$= \frac{21161,25 \cdot 13,73 - 5612 \cdot 18,97}{15549,25} = \frac{184084,32}{15549,25} = 11,83m$$

$$l = 11,83m.$$

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

$$\sum M_0 = 0$$

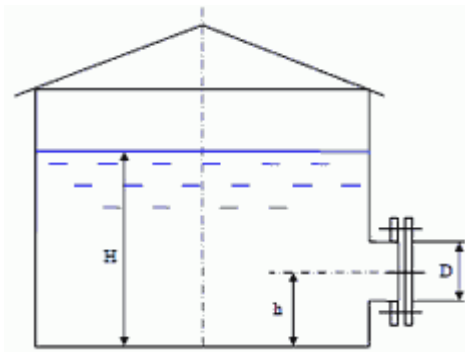
$$T \cdot \frac{t}{\sin \alpha} - P_{um} \cdot l - G \cdot \frac{t}{2 \cdot \sin \alpha} = 0$$

$$T = \frac{P_{um} \cdot l - G \cdot \frac{t}{2 \cdot \sin \alpha}}{\frac{t}{\sin \alpha}} = \frac{15549,25 \cdot 11,83 - 100 \cdot \frac{17,25}{2 \cdot 0,707}}{\frac{17,25}{0,707}}$$

$$= \frac{183947,62 - 1219,94}{24,398} = 7489,4kN$$

Javob: $P_1 = 21161.25 \text{ kN}$ $P_2 = 5612 \text{ kN}$

8 – 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 $\sigma = 700 \text{ kg/m}^2 = 70 \text{ MPa}$ 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.

$$p_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot (H - h) = 8,6 \cdot (8 - 0,5) = 0,86 \cdot 7,5 = 64,5 \frac{kN}{m^2}$$

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 \cdot 0,75^2 = 0,44m^2$$

3) Taʼsir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P = p_c \cdot \omega = 64,5 \cdot 0,44 = 28,48 \text{ kN}$$

4) Kuchni boltlarga taqsimlaymiz.

$$Q = \frac{P}{n} = \frac{28,48}{12} = 2,37 \text{ kN} = 237 \text{ kgk}$$

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

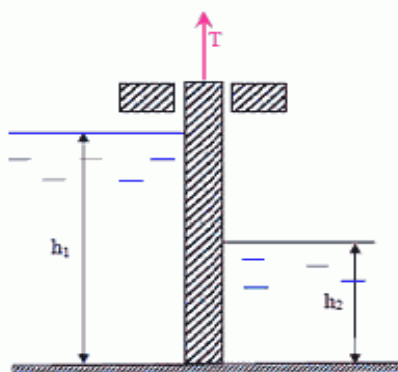
$$G = \frac{Q}{\omega_b} \leq [G]$$

$$\omega_b = \frac{Q}{[G]}; \omega_b = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{Q}{[G]} \cdot \frac{4}{\pi}} = \sqrt{\frac{237}{700} \cdot \frac{4}{3,14}} = 0,65 \text{ sm}$$

$$d \geq 0,65 \text{ sm} = 6,5 \text{ mm}$$

9 – Masala. Suvni toʻsib turgan zatvorning oʻlchamlari: boʻyi $a = 4 \text{ m}$, eni



$b = 2 \text{ m}$ va qalinligi $c = 0.2 b$ chap tomonidagi suvning chuqurligi $h_1 = 3 \text{ m}$, oʻng 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 ogʻirligi $\gamma = 10 \text{ kg/m}^3$ boʻlsa zatvorni koʻtaruvchi 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 tomondan zatvorning ogʻirlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$p_{c1} = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{h_1}{2} = 10 \cdot \frac{3}{2} = 10 \cdot 1,5 = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

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

3) Taʼsir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_1 = p_{c1} \cdot \omega_1 = 1,5 \cdot 6 = 90 \text{ kN}$$

4) Oʻng tomondan shitning ogʻirlik markazidagi bosimni aniqlaymiz,

$$p_{c2} = \gamma \cdot h_{c2} = \gamma \cdot \frac{h_2}{2} = 10 \cdot \frac{1,5}{2} = 10 \cdot 0,75 = 7,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

5) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega_2 = h_2 \cdot b = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ m}^2$$

6) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$P_2 = p_{c2} \cdot \omega_2 = 7,5 \cdot 3 = 22,5 \text{ kN}$$

7) Zatvorning og'irlik kuchini aniqlaymiz.

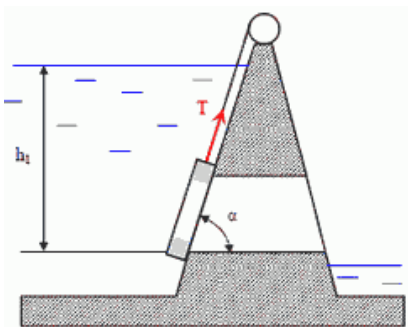
$$G = \gamma_m \cdot W = \gamma_m \cdot a \cdot b \cdot 0,2b = 75 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 2 = 75 \cdot 3,2 = 240 \text{ kN}$$

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 : $T \geq 285 \text{ kN} = 25,5 \text{ Tk}$

10 – 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 $h_1 = 10 \text{ m}$, shitning massasi $m = 2 \text{ t}$, $f = 0,3$ suvning solishtirma og'irligi $\gamma = 10 \text{ kH/m}^3$ bo'lsa shitni ko'taruvchi T kuchni aniqlang?



Berilgan:

$$h_1 = 10 \text{ m}, \quad a = 2 \text{ m}, \quad b = 1,6 \text{ m}, \quad c = 0,25b$$

$$\alpha = 60^\circ \quad m = 2 \text{ t} \quad f = 0,3 \quad \gamma = 10$$

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

$T = ?$

Yechish:

1) Shitning 0 og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

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.

$$P_A = \gamma \cdot W = \gamma \cdot a \cdot b \cdot 0,25b = 1 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot 0,4 = 1,28 \text{ Tk}$$

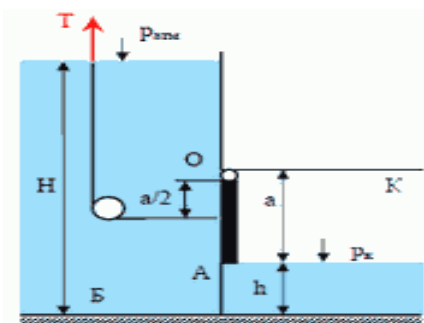
5) Shitni yuqoriga ko'taruvchi T kuchni aniqlaymiz.

$$T \geq m \cdot \cos \alpha + F \cdot f - P_A = 2 \cdot 0,5 + 33,25 \cdot 0,3 - 1,28 = 1 + 9,975 - 1,28 = 9,7 \text{ Tk}$$

Javob: $T \geq 9,7 \text{ Tk} = 97 \text{ kN} = 97000 \text{ N}$

11 – Masala. B Rezervuardan suvni chiqarish 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



$$\begin{aligned}
 a &= 1.2 \text{ m} \\
 b &= 0.6 \text{ m} \\
 H &= 10 \text{ m} \\
 h &= 0.8 \text{ m} \\
 P_K &= 0.01 a t = 1 \text{ kN/m}^2 \\
 \gamma &= 10 \text{ kN/m}^3 \\
 T &= ?
 \end{aligned}$$

Yechish:

- 1) Zatvorning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = P_{at} + \gamma \cdot h_c = P_{at} + \gamma \cdot \left(H - h - \frac{a}{2} \right) = 100 + (10 - 0.8 - \frac{1.2}{2}) \cdot 10 = 100 + 10 \cdot 8.6 = 186 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

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

- 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.

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

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

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

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

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

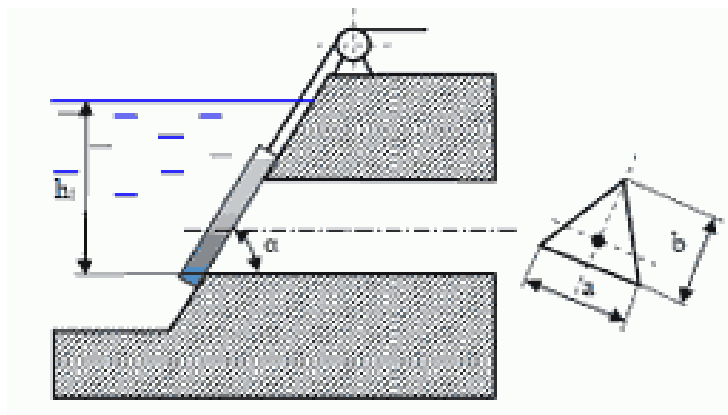
$$\sum M_O = 0$$

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

$$T = \frac{F \cdot (h_d - H - h - a) \cdot 2}{a} = \frac{133.2 \cdot (8.61 - 10 - 0.8 - 1.2) \cdot 2}{1.2} = \frac{133.2 \cdot 1.22}{1.2} = 135.42 \text{ kN}$$

Javob:

$$T \geq 135.4 \text{ kN} = 13.54 \text{ Tk}$$



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

Berilgan

$$h = 9.5 \text{ m}$$

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

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

$$\alpha = 45^{\circ}$$

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

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

Yechish:

- 1) Zatvorning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

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

- 2) Yuzasini aniqlaymiz.

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

- 3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz

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

- 4) Bosim markazini aniqlaymiz.

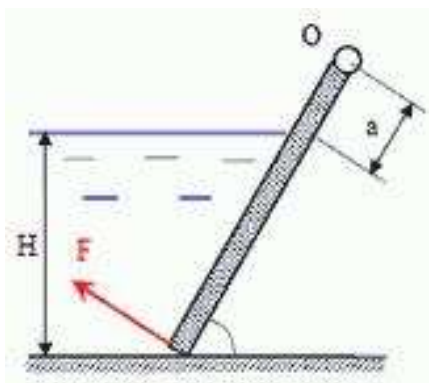
$$Z_d = Z_c + \frac{J}{Z_c \cdot \omega}$$

$$Z_c = \frac{h_c}{\sin \alpha} = \frac{0.14}{0.707} = 0.198 \text{ m}$$

$$\omega = 0.9 \text{ m}^2$$

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

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

**Berilgan:**

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

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

$$\alpha = 60^{\circ}$$

$$Q = ?$$

Yechish:

- 1) Shitning og'irlik markazidagi bosimni aniqlaymiz.

$$P_c = \gamma \cdot h_c = \gamma \cdot \frac{H}{2} = 10 \cdot \frac{1,5}{2} = 10 \cdot 0,75 = 7,5 \frac{kN}{m^2}$$

2) Yuzasini aniqlaymiz.

$$\omega = \frac{H}{\sin \alpha} \cdot b = \frac{1,5}{0,866} \cdot 1,25 = 2,16 m^2$$

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F = P_c \cdot \omega = 7,5 \cdot 2,16 = 16,2 kN$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

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

$$Z_c = 0,866 m; \omega = 2,16 m^2$$

$$J = \frac{b}{12} \cdot \left(\frac{H}{\sin \alpha}\right)^3 = \frac{1,25}{12} \cdot \left(\frac{1,5}{0,866}\right)^3 = 0,54$$

$$Z_d = 0,866 + \frac{0,54}{0,75 \cdot 2,16} = 1,21 m$$

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

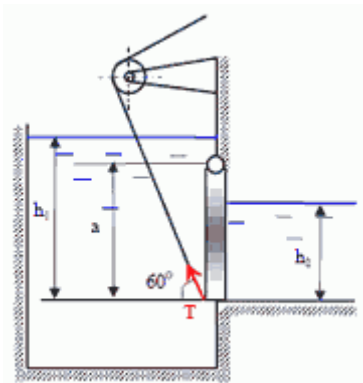
$$\sum m_0 = 0$$

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

$$Q = \frac{F \cdot (Z_d + a)}{\left(\frac{H}{\sin \alpha} \cdot a\right)} = \frac{16,2 \cdot (1,21 + 0,2)}{\left(\frac{1,5}{0,866} + 0,2\right)} = \frac{22,84}{1,93} = 11,86 kN$$

Javob: $Q \geq 11,83 kN = 1,18 Tk$

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



Berilgan:

$$h_1 = 5 m$$

$$h_2 = 2 m$$

$$a = 3 m$$

$$b = 4 m$$

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

$$\alpha = 60^\circ$$

$$T = ?$$

Yechish:

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

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

2) Yuzasini aniqlaymiz.

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

3) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz.

$$F_1 = P_c \cdot \omega = 35 \cdot 12 = 420kN$$

4) Bosim markazini aniqlaymiz.

$$h_{d1} = h_c + \frac{J_{ox}}{h_c \cdot \omega}$$

$$h_c = 3,5m$$

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

$$h_{d1} = 3,5 + \frac{9}{3,5 \cdot 12} = 3,71m$$

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

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

6) Yuzasini aniqlaymiz.

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

7) Ta'sir etayotgan GBK ni aniqlaymiz

$$F_2 = P_c \cdot \omega = 10 \cdot 8 = 80kN$$

8) Bosim markazini aniqlaymiz.

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

$$h_c = 1m; \omega = 8m^2$$

$$J_{ox} = \frac{b \cdot h_2^3}{12} = \frac{4 \cdot 8^3}{12} = \frac{32}{12} = 2,66$$

$$h_{d2} = 1 + \frac{2,66}{1 \cdot 8} = 1,33m$$

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

$$\sum M_0 = 0$$

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

Bundan:

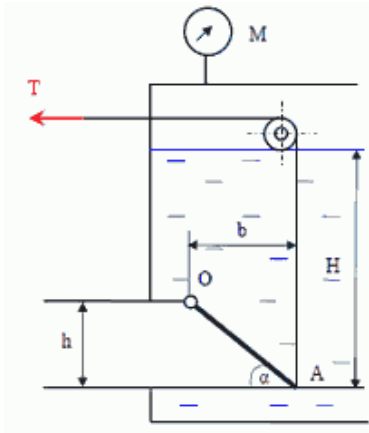
$$T = \frac{F_1 \cdot [h_{d1} - (h_1 - a)] - F_2 \cdot [h_{d2} + (a - h_2)]}{a \cdot \cos 60^0} = \frac{420 \cdot [3,71 - (5 - 3)] - 80 \cdot [1,33 + (3 - 2)]}{3 \cdot 0,5}$$

$$= \frac{420 \cdot 1,71 - 80 \cdot 2,33}{1,5} = \frac{531,8}{1,5} = 354,53kN$$

Javob: $T = 354,53kN$

Mustaqil yechishga doir masalalar:

15 – Masala. Rezervuardan benzinni kvadrat quvur ($h = 0.3m$) ga chiqish qismida qiya joylashgan AO klapan to'sib turibdi. Qiyalik $\alpha = 45^0$. Benzin chuqurligi $H = 0.85$ m, benzin zichligi $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$, benzin rezervuaridagi manometrning ko'rsatgichi $M = 0.05 \text{ kg/m}^2 = 5000 \text{ Па} = 50 \text{ kN/m}^2$. Trossdagi kuchlanish T ni aniqlang.



Berilgan

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

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

$$\alpha = 45^0$$

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

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

$$T = ?$$

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

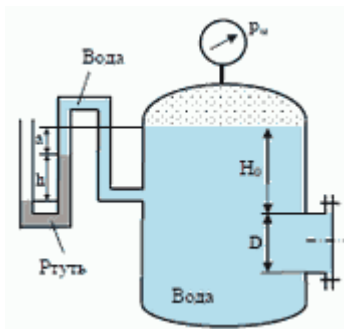
16 – Masala. Ikki qismga ajralgan rezervuar o'rtasiga kvadrat shakildagi a * $a = 0.6 \times 0.6 \text{ m}^2$ shit(darvoza) quyilgan. O'ng tomondagi suvning sathi $H_1 = 2 \text{ m}$, ga etishi bilan shit avtomatik tarzda ochilishi uchun sharnir berilgan o'qdan qancha masofada- x bo'lishi kerak? Chap tomondagi suv sathi o'zgarmas $H_2 = 1 \text{ m}$. Sharnirdagi reaksiya kuchini R_0 aniqlang.

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

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

a) Manometr ko'rsatgichi $P_m = 0.08 \text{ MPa}$ $H_0 = 1.5 \text{ m}$.

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



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: $F = 0$

Mustaqil yechishga doir masalalar:

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

2. Quyida o'lchami ko'rsatilgan brusning hajmiy og'irligini toping:

$b = 30$ sm, $h = 20$ sm, $l = 100$ sm, suyuqlikka cho'kkan qismi $y = 16$ sm.

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

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

5. O'lchamlari 60x60x20 sm bo'lgan muz suvda suzmoqda. Muzning zichligi $\rho_T = 900$ kg/m³. Agar muz erisa, idishdagi suv sathi qanchaga o'zgaradi?

2.12 ARXIMED QONUNI

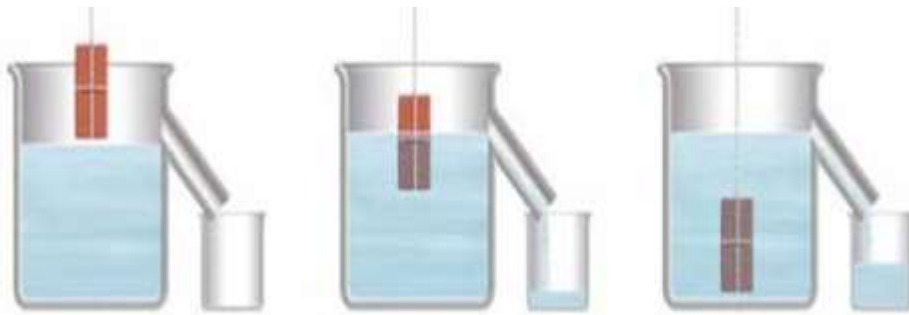
Suyuqlikka tushirilgan jismlarning qay yo`sinda harakat qilishi va qanday holatlarni qabul qilishini tekshirish uchun ularning suyuqlik bilan ta'sirlashish va muvozanat qonunlarini o`rganish kerak buladi. **Jismlarning suyuqlikda suzishi** qonuniyatlari eramizdan 250 yil avval kashf qilingan Arximed 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 jismga siqib chiqaruvchi kuch ta'sir qilib, bu kuchning kattaligi botirilgan jism siqib shiqargan suyuqlik og'irligiga teng bo`ladi.*



Menga yerning og'irlik markazini aniqlab
bering, men yerni teskari qilaman

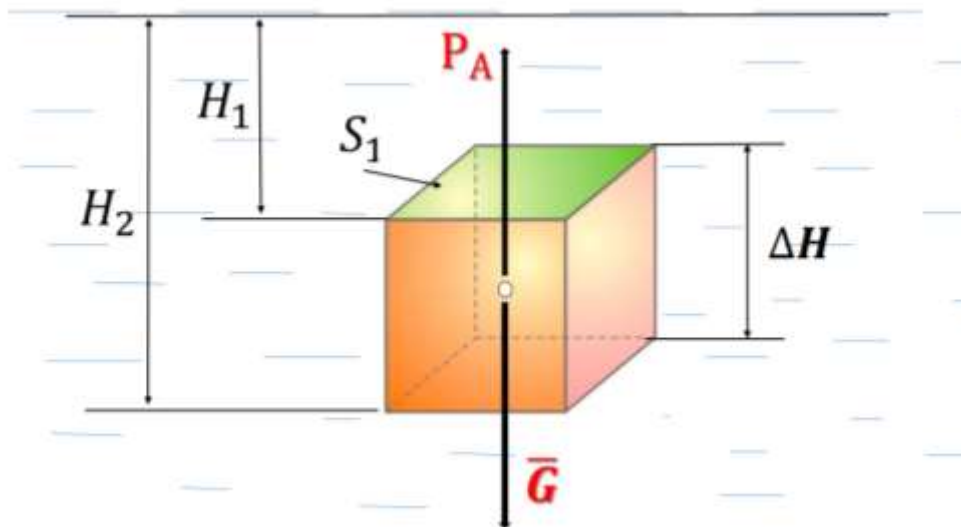
Arximed
(287-212)

Bu qoidani isbotlash qiyin emas. Suyuqlikka tushirilgan jismlar uz hajmlariga teng bulgan suyuqlikni siqib chiqaradilar (2.26 - rasm). Ushbu jarayonda suyuqlik tomonidan jismga ta'sir etuvchi kuchni aniqlaymiz.



2.26-rasm. Arximed qonuni namoyishi

Suyuqlikka V hajmli jism botirilgan bo'lsin (2.27 - rasm). Unga suyuqlik tomonidan jismga ta'sir etuvchi kuchlar quyidagilar bo'ladi:



2.27 - rasm. Arximed qonuniga oid chizma

1) jismga yuqoridan ta'sir etuvchi bosim kuchi

$$P_1 = \gamma H_1 S$$

2) jismga pastdan ta'sir etuvchi bosim kuchi

$$P_2 = \gamma H_2 S$$

3) pastga yo'nalgan og'irlik kuchi

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

4) jismga yon tomonlaridan ta'sir etuvchi kuchlar 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 ayirmasiga teng bo'lib, yuqoriga yo'nalgan bo'ladi:

$$P = P_2 - P_1 = \gamma \cdot S \cdot (H_2 - H_1) = \gamma \cdot S \cdot \Delta H \quad (2.38)$$

bu yerda: γ va γ_1 – suyuqlik va jismning solishtirma og'irliklari; H_1 – jismning yuqori qismining chuqurligi; H_2 – jismning pastki qismining chuqurligi; ΔH – jismning balandligi; S – jismning yuqori va pastki sirtlarining yuzasi.

Jismning hajmi $V = \Delta H S$ bo'lgani uchun siqib chiqaruvchi kuch-Arximed kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_A = \gamma V \quad (2.39)$$

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 (2.38) dan ko'rinib turibdi. Arximed qonuni yopiq va ochiq idishlarda suyuqlik sirtida suzib yuruvchi jismlar uchun ham, uning ichidagi jismlar uchun ham to'g'ridir. Faqat suyuqlik sirtidagi jismlar uchun uning suvga botirilgan qismiga qo'llaniladi.

2.13 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 (2.27 - rasm) teng ta'sir etuvchisini topamiz:

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

yoki

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

Bu kuchni ko'taruvchi kuch deb ataladi. Oxirgi ifodadan shuni xulosa qilish mumkinki ko'taruvchi kuch miqdori Arximed va ogirlik kuchlari farqiga boq'liq ekan.

Bu erda $\Delta H = H_2 - H_1$ va $\Delta H \cdot S = V$ ekanligini hisobga olsak, teng ta'sir etuvchi ko'taruvchi kuch:

$$R = (\gamma - \gamma_1)V \quad (2.39)$$

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'irliklari teng bo'lsa, u holda $R = 0$, ya'ni jism suyuqlik ichida suzib yuradi.

3. Agar $\gamma < \gamma_1$ bo'lsa, u holda ko'taruvchi kuch manfiy (pastga yo'nalgan) bo'ladi va jism suyuqlik tubigacha cho'kadi.

Keltirilgan (2.39) ifodadan foydalanib jismlarning suyuqlikda suzuvchanligi, ya'ni ma'lum yuk bilan suzib yurish qobiliyati to'g'risida xulosa chiqarish mumkin. Har qanday qalqib yuruvchi jism suzuvchanlik imkoniyatiga ega bo'lib, bu uning suzib yurishidagi xavfsizligini ta'minlaydi. Suzuvchanlik imkoniyati jismning suyuqlik sirtidan yuqori qismining hajmidagi suyuqlik og'irligiga teng.

Suzuvchanlik imkoniyati P_c bilan belgilanadi va quyidagicha topiladi:

$$P_c = \frac{R}{\gamma} = \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma} V. \quad (2.40)$$

Suzuvchi jismning qancha qismi suvga 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'irlik markazi* (2.28 - rasmda C nuqta).

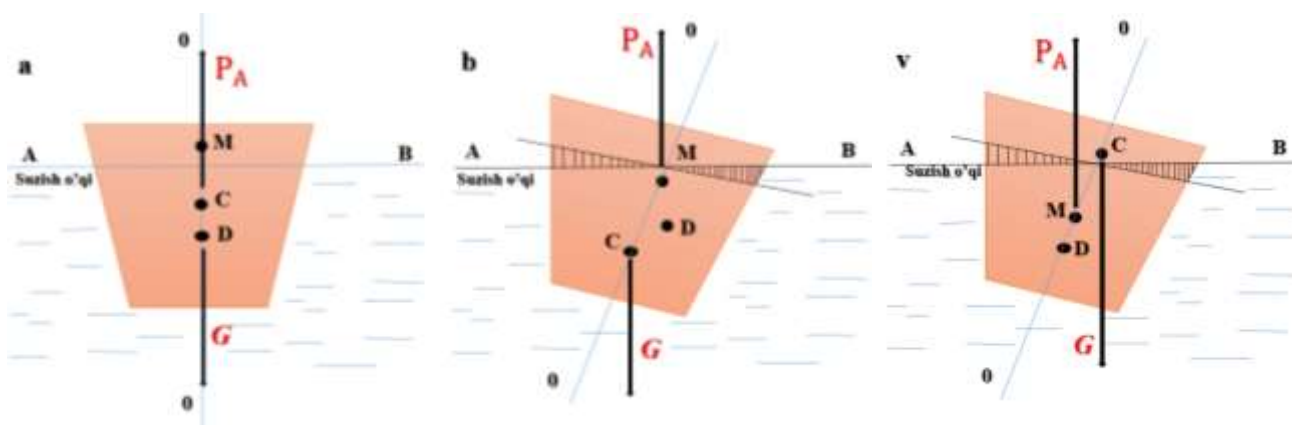
4. *Suv sig`imi markazi yoki bosim markazi* (2.28 - rasmda D nuqta). Bu yerda suv sig`imi – jismning suvga botgan qismi. Suv sig`imi markazi jismning suyuqlikka botgan qismiga ta'sir etuvchi bosimning teng ta'sir etuvchisi qo`yilgan nuqta bo`lib, u suvga botgan qismning og`irlik markaziga joylashgan.

5. *Suzish o`qi* – suzayotgan jism normal holatida uning o`rtasidan o`tgan $O-O$ o`qi (2.28-rasm, a).

6. *Metamarkaz* – jismning qiya holatida teng ta'sir etuvchi bosim kuchi yo`nalishining suzish o`qi bilan kesishgan nuqtasi (2.28 - rasm, b, v). Suzayotgan jismning og`irlik markazi C u qiyalashganda ham o`zgarmaydi. Suv sig`imi markazi D esa jism qiyaligining har xil holatida har xil bo`ladi. Qiyalik burchagi 15° gacha bo`lganda D taxminan radiusi biror r ga teng bo`lgan aylana yoyi 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 (2.28 - rasm, a) og`irlik markazi va suv sig`imi markazi suzish o`qida yotadi. Og`irlik kuchi G va bosim P esa suzish o`qi bo`yicha yo`nalgan bo`ladi. Suzayotgan jism qiyshayishi bilan G va P kuchlar moment hosil qiladi. Bu moment jism qiyalangan tomon yo`nalishida yoki unga teskari bo`lishi mumkin.



2.28 - rasm. Suzib yuruvshi 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`nalishi bu kuchlarning qo`yilish nuqtalari, ya'ni og`irlik markazi C bilan suv sig`imi markazi D ning o`zaro holatiga bog`liq. Bunda uch hol bo`lishi mumkin:

1) agar metamarkaz og`irlik markazidan yuqorida bo`lsa (2.28 - 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 (2.28 - 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'unlikka bog'liq bo'lmaydi (masalan, shar uchun). Turg'unlikka bog'liq boshqa masalalar ustida to'xtalib o'tirmaymiz.

2. bo'yicha nazorat savollari

1. Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari 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.

3-bo'lim. 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 suyuqlikni 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. Hidrostatikada asosiy parametr bosim edi, gidrodinamikada esa bosim va tezlikdir.

3.1 Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari

Suyuqlik harakat qilayotgan fazoning har bir nuqtasida shu nuqtaga tegishli tezlik va bosim mavjud bo'lib, fazoning boshqa nuqtasiga o'tsak, tezlik va bosim boshqa qiymatga ega bo'ladi, ya'ni tezlik va bosim koordinatalar x, 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'rilayotgan harakatga mos keluvchi tezlik va bosim to'plamlarini ko'z oldimizga keltira olamiz. Ana shu usul bilan tuzilgan tezlik *to'plami tezlik maydoni* deyiladi. Shuningdek, bosim vektorlaridan iborat to'plam *bosim maydoni* deb ataladi. Tezlik va bosim maydonlari vaqt o'tishi bilan o'zgarib boradi. Hidrostatikadagi kabi gidrodinamikada ham gidrodinamik bosimni p bilan belgilaymiz va uni sodda qilib bosim deb ataymiz. Tezlikni esa u bilan belgilaymiz. U holda tezlikning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari u_x, u_y, u_z bo'ladi.

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

$$\begin{aligned} p &= f_1(x, y, z, t) \\ u &= f_2(x, y, z, t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

tezlik proyeksiyalari ham funktsiyalardir;

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

Bu keltirilgan funktsiyalarni aniqlash va ular o'rtasidagi o'zaro bog'lanishni topish gidrodinamikaning asosiy masalasi hisoblanadi.

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

suyuqlik oqayotgan fazoning har bir nuqtasida tezlik va bosim vaqt bo'yicha o'zgarib faqat koordinatalarga bog'liq, ya'ni

$$\begin{aligned} p &= f_{11}(x, y, z) \\ u &= f_{21}(x, y, z) \end{aligned} \quad (3.2)$$

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

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

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

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

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

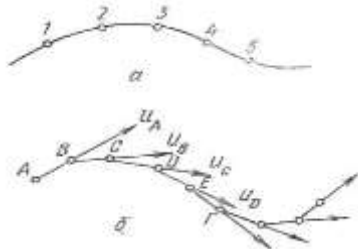
Struyali harakat. Struyali harakat vaqtida suyuqlik faqat havo bilan chegaralangan bo'ladi.

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

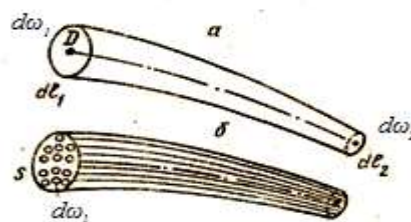
Odatda, biror voqea yoki hodisani tekshirishda uni butunligicha tekshirib bo'lmagani uchun biror soddalashtirilgan sxema qabul qilinadi va ana shu sxema tekshiriladi. Gidravlikada suyuqlik harakati qonuniyatlarining tabiatini eng yaxshi ifodalab beruvchi sxema suyuqlik oqimini elementar oqimchalardan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

a) Oqim chizig'i – suyuqlik harakat qilayotgan fazoda suyuqlikning biror zarrachasining harakatini kuzatsak, uning vaqt o'tishi bilan fazoda oldinma-keyin olgan holatlarini 1, 2, 3... (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 tutashtirsak, suyuqlik zarrachasiniig trayektoriyasi hosil bo'ladi.

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



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



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

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

Oqim naychasi va elementar oqimcha. Endi, suyuqlik harakatlanayotgan sohada, biror D nuqta olib, shu nuqta atrofida cheksiz kichik dl kontur olamiz va shu konturning har bir nuqtasidan oqim 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 kesimdagi barcha nuqtalarda suyuqlik zarrachalarining tezligi o'zgarmasdir.

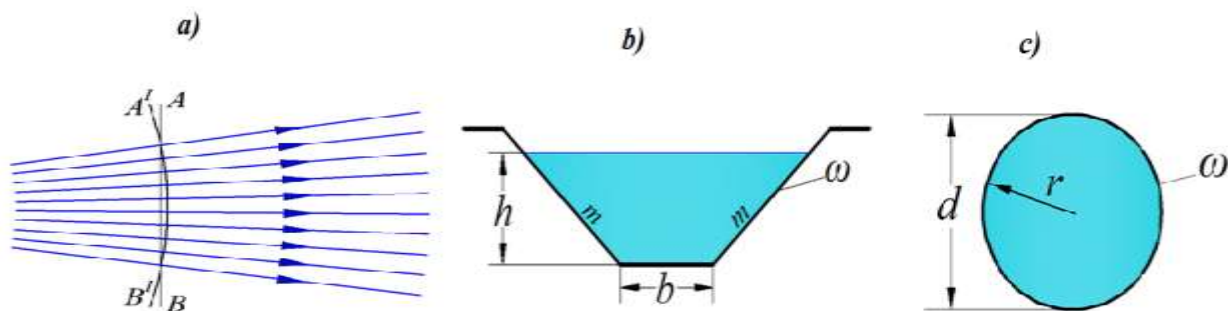
Endi biror ω yuza olib, uni cheksiz ko'p $d\omega_1, d\omega_2, d\omega_3$ elementar yuzalarga ajratish mumkin (3.2 - rasm, b). Shuning uchun yuzadan oqib o'tayotgan suyuqlik oqmasi cheksiz ko'p elementar oqimchalardan tashkil topgan bo'ladi va har bir elementar oqimchada suyuqlik tezligi boshqa elementar 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) oʻrtacha tezlik; 4) hoʻllangan perimetr; 5) gidravlik radius kabi tushunchalar kiritiladi.

Harakat kesimi deb shunday sirtga aytiladiki, uning har bir nuqtasida oqim chizigʻi normal boʻyicha yoʻnalgan boʻladi. Umumiy holda harakat kesimi egri sirt boʻlib (3.3 - rasm a), parallel oqimchali harakatlar uchun tekislikning boʻlagidan iborat (ya'ni tekis sirt) (3.3 - rasm, b, c).

Masalan, radial tarqalayotgan suyuqlik oqimi uchun harakat kesimi sferik sirt boʻlsa (3.3 - rasm, a) oʻzanda va quvurda harakat qilayotgan oqimning harakati kesimi tekis sirt (3.3 - rasm, b, c). Shunga asosan parallel oqimchali harakatga ega boʻlgan oqimlarning harakat kesimi uchun quyidagicha ta'rif berish mumkin: *oqimning umumiy oqim yoʻnalishiga normal boʻlgan koʻndalang kesimi harakat kesimi deb ataladi*. Oqim harakat kesimining yuzi ω harfi bilan belgilanadi.



3.3 - rasm. Harakat kesimiga oid chizma.

Harakat kesimini aniqlashga doir 3.1-jadval.

Shakli	Hisoblash formulasi
To'g'ri to'rt burchakli	$\omega = b \cdot h,$
Trapetsiya shaklda	$\omega = (b + m \cdot h)h,$
Silindrik trubalar uchun	$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \pi \cdot r^2,$
Ushburchak novlar uchun	$\omega = mh^2$

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'rinib turibdi. Quvurda tezlikning eng katta qiymati uning o'rtasida bo'lsa, kanalda erkin sirtga yaqin yerda bo'ladi. Ixtiyoriy elementar oqimcha uchun elementar sarf $dQ = u d\omega$ ga teng. Oqim cheksiz ko'p elementar oqimchalardan tashkil topgani uchun elementar sarflarning yig'indisi, ya'ni butun oqimning sarfi integral ko'rinishda ifodalanadi:

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

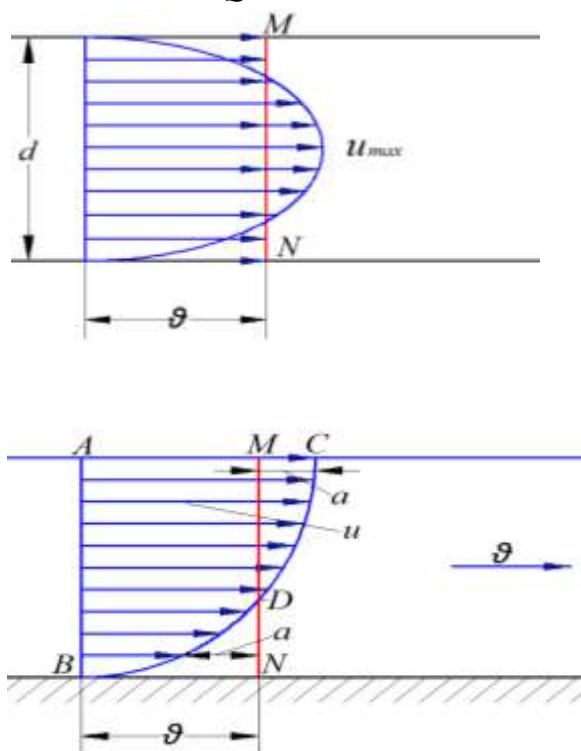
bu yerda: ω – harakat kesimi; $d\omega$ – harakat kesimining elementar oqimchaga tegishli bo'lagi.

Suyuqlik zarrachalarining hammasi bir xil tezlik bilan harakatlanganda bo'ladigan sarf, haqiqiy harakat vaqtidagi sarfga teng bo'ladigan tezlik o'rtacha tezlik deb ataladi. 3.4 - rasm, a, b larda haqiqiy tezlik epyurasi punktir chiziq bilan chizilib, punktirli strelkalarining uchini birlashtiradi. O'rtacha tezlik epyurasi tutash chiziqlar bilan chizilgan bo'lib, tutash strelkalar uchini birlashtiradi. O'rtacha tezlik ϑ harfi bilan belgilanadi va sarfni harakat kesimiga bo'lish yo'li bilan topiladi:

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

Bunda suyuqlik sarfi o'rtacha tezlik orqali quyidagicha ifodalaniladi:

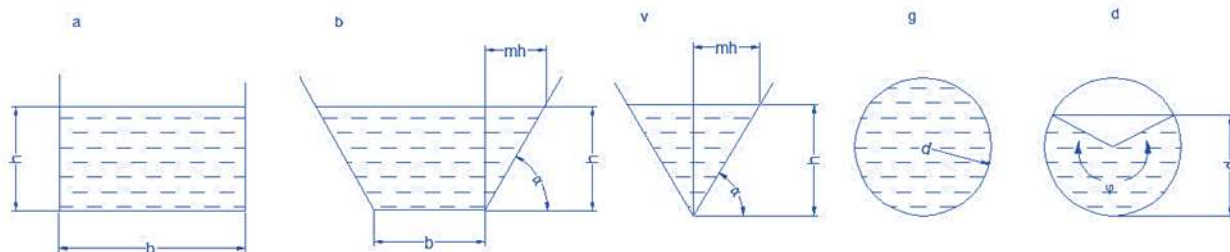
$$Q = \vartheta \omega. \quad (3.5)$$



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

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

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



3.5 - rasm. Ho`llangan perimetrqa doir chizma.

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

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

$$\chi = 2h + b,$$

trapetsiadal to`rtburchak nov uchun

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

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

uchburchak novlar uchun (1.32 - rasm, v):

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

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

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

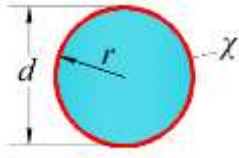

suyuqlik to`lmay oqqanda (1.32 - rasm, d)

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

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

Ho`llangan perimetrni aniqlashga doir 3.2-jadval.

Shakli	Hisoblash formulasi
<p>To`g`ri to`rt burchakli</p>	$\chi = b + 2h,$
<p>Trapetsiya shaklida</p>	$\chi = b + 2 \cdot h\sqrt{1 + m^2},$

Silindrik trubalar uchun		$\chi = \pi \cdot d = 2 \cdot \pi \cdot r,$
Uchburchak novlar uchun		$\chi = 2h\sqrt{1+m^2}$

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

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

To'g'ri to'rtburchak novlar uchun:

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

Trapetsiadal novlar uchun

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h(mh+b)}{b+2h\sqrt{1+m^2}}. \quad (3.8)$$

Uchburchak novlar uchun

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{mh^2}{2h\sqrt{1+m^2}} = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}. \quad (3.9)$$

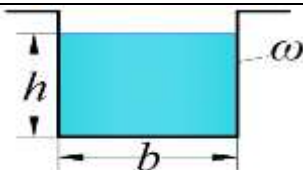
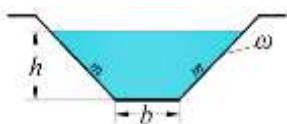
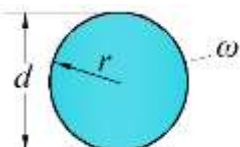
Silindrik quvurlar uchun:

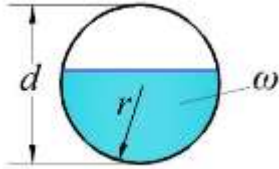

suyuqlik to'lib oqqanda $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4} : \pi d = \frac{r}{2}, \quad (3.10)$

suyuqlik to'lmay oqqanda $R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\frac{d^2}{8} \left(\frac{\varphi\pi}{180} - \sin\varphi \right)}{\frac{\varphi\pi d}{360}} = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{180\sin\varphi}{\varphi\pi} \right). \quad (3.11)$

Gidravlik radiusni aniqlashga doir

3.3-jadval.

Shakli	Hisoblash formulasi
To'g'ri to'rt burchakli 	$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{b \cdot h}{2h+b};$
Trapetsiya yuzali 	$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}};$
Silindrik trubalar uchun: suyuqlik to'lib oqqanda 	$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{r}{2};$

Silindrik trubalar uchun: suyuqlik to'lmay oqganda		$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\frac{d^2}{8} \left(\frac{\varphi\pi}{180} - \sin\varphi \right)}{\frac{\varphi\pi d}{360}} = \frac{d}{4} \left(1 - \frac{180\sin\varphi}{\varphi\pi} \right)$
Ushburchak novlar uchun		$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{mh^2}{2h\sqrt{1+m^2}} = \frac{mh}{2\sqrt{1+m^2}}$

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.

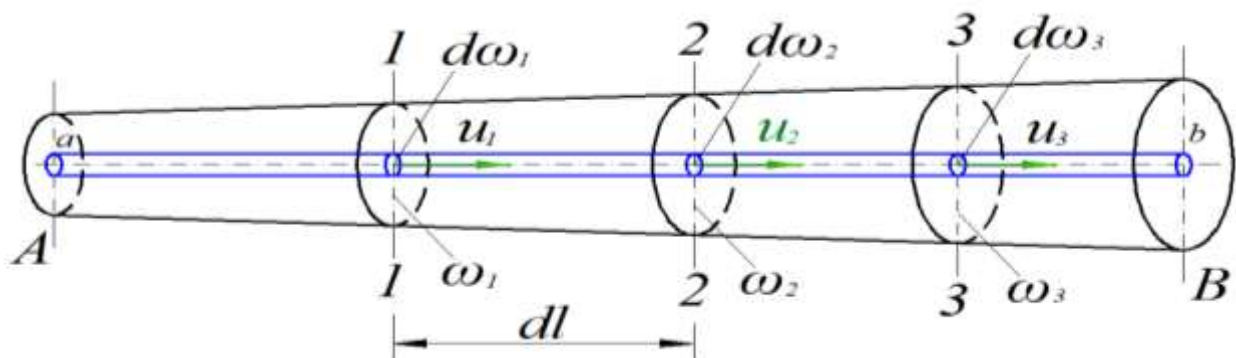
Elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasini chiqaramiz. Oqimda harakat o'qi *l-l* bo'lgan elementar oqimcha olamiz va uning 1 - 1 va 2 - 2 kesimlari orasidagi bo'lagini tekshiramiz (3.6-rasm). 1-1 kesimdagi yuza $d\omega_1$ tezlik u_1 , 2-2 kesimdagi yuza $d\omega_2$, tezlik u_2 bo'lsin va bu kesimlarda tegishli elementar 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'rtasida suyuqlik to'planishi yoki elementar oqimcha devorlari orqali tashqariga chiqishi mumkin degan xulosa chiqadi. Biroq yuqorida aytilganidek, elementar oqimcha devorlaridan suyuqlik o'tmaydi va uning ko'ndalang kesimlari o'tkazmasdir.



3.6 - rasm. Elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasini chiqarishga oid chizma.

Demak, bunday taxmin noto'g'ri ekanligi ko'rinib turibdi.

2) $q_1 < q_2$ bo'lsin. Bu holda 1-1 va 2-2 kesimlari orasida qayerdandir suyuqlik qo'shilib turishi yoki elementar oqimcha devorlari orqali ichkariga o'tib turishi kerak. Yuqoridagiga asosan bunday taxmin ham noto'g'ri ekanligi ko'rinadi. 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 oqimchanning xohlagan kesimi uchun elementar sarf teng bo'ladi, ya'ni

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

(3.13) tenglama elementar oqimcha uchun uzilmaslik tenglamasi deb ataladi. Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, elementar oqimchanning barcha kesimlarida elementar sarf bir xildir. (3.13) tenglamani quyidagicha yozish mumkin

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

Bundan elementar oqimchanning ixtiyoriy ikkita kesimidagi tezliklar bu kesimlar yuzasiga teskari proporsional ekanligi kelib chiqadi.

Oqim uchun uzilmaslik tenglamasini chiqaramiz. Buning uchun elementar oqimcha uchun olingan uzilmaslik tenglamasidan foydalanamiz. Oqim sarfi cheksiz ko'p oqimchalar sarfining yig'indisidan iborat ekanligini (3.6 - rasm) nazarga olib, (3.13) tenglamaning chap va ung qismini ω_1 va ω_2 yuzalar bo'yicha olingan integrallar bilan almashtiramiz

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

(3.3) tenglamaga asosan

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

bo'ladi. Shuning uchun

$$\mathcal{G}_1 \omega_1 = \mathcal{G}_2 \omega_2 \quad (3.14)$$

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

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

Bu oqim uchun uzilmaslik tenglamasidir. Undan ko'rinadiki, oqimning yo'nalishi bo'yicha ko'ndalang kesimlarning yuzasi va tezligi o'zgarib borishi mumkin. Lekin sarf o'zgarmaydi. (3.14) tenglamani quyidagicha ta'riflash va yozish mumkin, ya'ni *oqimning kesimlaridagi o'rtacha tezliklar tegishli kesimlarning yuzalariga teskari proporsionaldir*:

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

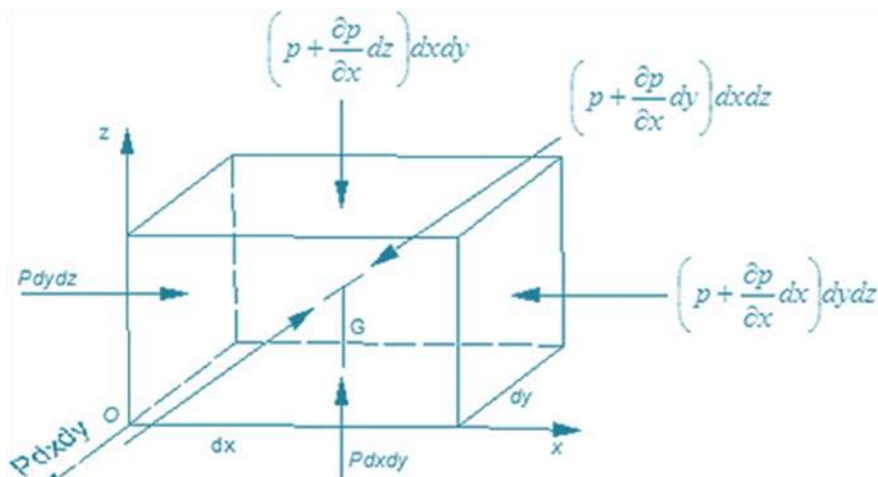
3.5 Ideal suyuqliklar uchun harakat tenglamasi. Suyuqlik harakati uchun Eyler tenglamasi

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 gradiyentiga bog'liq bo'lishini ta'kidladik.

Gidrostatika boʻlimida suyuqliklar muvozanat holatining tenglamasini chiqarganimizdek, ularning harakati uchun ham umumiydosh tenglama chiqarishimiz mumkin. Quyida biz ideal suyuqliklar uchun shunday tenglama chiqarish bilan shugʻullanamiz. Suyuqlik harakat qilayotgan fazoda tomonlari dx , dy , dz boʻlgan elementar hajm ajratib olamiz (3.7 - rasimga qarang).

Ajratib olingan suyuqlik hajmida Ox , Oy , Oz oʻqlari yoʻnalishida taʼsir etuvchi kuchlarni koʻrsatamiz.

Tanlab olingan suyuqlik hajmiga bosim kuchlari, hajmiy kuchlar va innersiya kuchlari taʼsir koʻrsatadi.



2.1.1-rasm. Eyler tenglamasini keltirib chiqarishga doir

U holda Dalamber prinsipidan foydalanib aktiv kuch (ogʻirlik kuchi), reaksiya kuchlari (bosim kuchi) va innersiya kuchlaridan iborat muvozanat tenglamasini tuzamiz. Barcha kuchlarni massa birligida qarab chiqamiz.

Inersiya kuchlarining massa birligidagi koordinata oʻqidagi proeksiyasi:

$$\alpha_x = \frac{du_x}{dt}; \alpha_y = \frac{du_y}{dt}; \alpha_z = \frac{du_z}{dt} \quad (3.15)$$

Birlik massaga taʼsir etuvchi bosim kuchlarining teng taʼsir etuvchilari

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}; -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}; -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.16)$$

boʻladi. Shuningdek, ogʻirlik kuchlari uchun x , y va z oʻqlaridagi proeksiyalar

$$X, Y, Z. \quad (3.17)$$

Endi x , y va z oʻqlari boʻyicha Dalamber printsipini qoʻllasak quyidagi differensial tenglamalar sistemasiga ega boʻlamiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{du_y}{dt} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{du_z}{dt} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (3.18)$$

Keltirilgan tenglamalar sistemasiga harakatdagi ideal suyuqlikning differensial tenglamasi deyiladi. Bu Eyler tomonidan taklif qilingan (1755 y).

Leonhard Euler (1707-1783) — shveysariyalik matematik, mexanik va fizik olim, Peterburg Fanlar akademiyasi a'zosi. Berlin Fanlar akademiyasi prezidenti (1759). Asosiy ilmiy ishlari o'sha davr matematikasining barcha sohalariga, mexanika, elastiklik nazariyasi, matematik fizika, optika, musiqa nazariyasi, mashinalar nazariyasi, ballistika, dengiz fani va boshqalarga oid.



Leonard Eyler

“Biz hozirda fizikadan aniq biladigan hamma narsa ilgari taxminlarga asoslangan edi, agar taxminlarga, hatto noto'g'ri bo'lganlarga ham ruxsat berilmaganida, biz bitta ham haqiqatga erishmagan bo'lar edik”.

L. Eyler

Harakatdagi ideal suyuqlikning differensial tenglamasida, noma'lumlar soni to'rtta: u_x, u_y, u_z, p . tenglamalar uchta.

Tenglamalar sistemasi yechimini topish uchun yana bitta tenglama lozim. U holda to'rtinchi tenglama sifatida uzilmaslik tenglamasi olinadi.

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (3.19)$$

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

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

Buni nazarga olsak, (3.19) qisqacha quyidagicha yoziladi:

$$\text{div} \bar{U} = 0$$

Murakkab funktsiyaning to'liq differentsiali haqidagi qoidaga asosan

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t}, \quad (3.20)$$

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

$$\frac{\partial x}{\partial t} = u_x; \quad \frac{\partial y}{\partial t} = u_y; \quad \frac{\partial z}{\partial t} = u_z. \quad (3.21)$$

Buni nazarda tutgan holda (3.20) ni quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z}. \quad (3.22)$$

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

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z}, \quad (3.23)$$

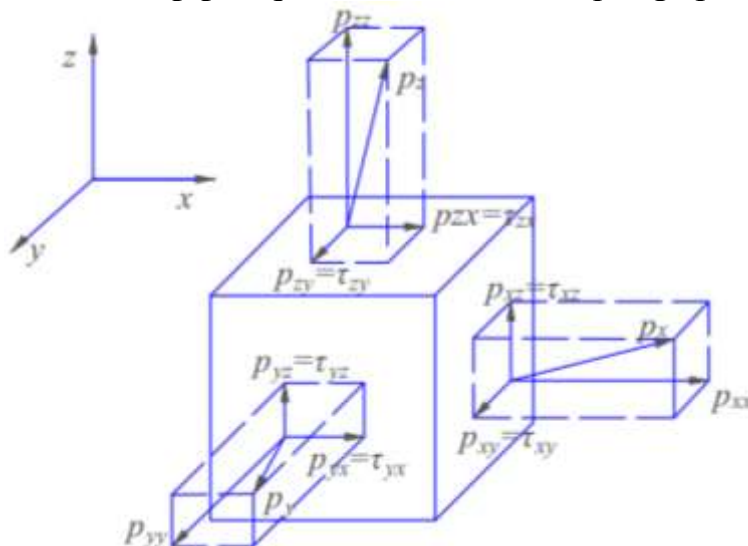
$$\frac{du_z}{dt} = \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z}. \quad (3.24)$$

(3.22), (3.23), (3.24) larni (3.18) tenglamaga qo'yib, ideal suyuqliklar differentsial tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \quad (3.25)$$

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 xossalariga qaraganda umumiyroqdir. Gidrodinamik bosim suyuqlikdagi ichki kuchlarni ifodalovchi va kuchlanish kuchlari deb ataluvchi kuchlar tarkibiga kiradi. Nave – Stoks tenglamasini keltirib chiqarish uchun suyuqlikda parallelepiped ajratib olamiz.. Parallelepiped tomonlarini dx, dy, dz , qilib belgilaymiz. Parallelepiped qirralari X, Y, Z – o'qlariga parallel:



3.7-rasm. Elementar parallelepipedga ta'sir etuvchi kuchlar sxemasi



***Klod Lui Mari Anri Navier (1785 — 1836, Parij)
— fransuz mexanigi va muhandisi.
Strukturaviy mexanika, materiallarning
mustahkamligi, elastiklik nazariyasi, gidravlika va
gidromexanika bo'yicha yetuk olim.***

**Klod Lui Mari Anri
Navier**

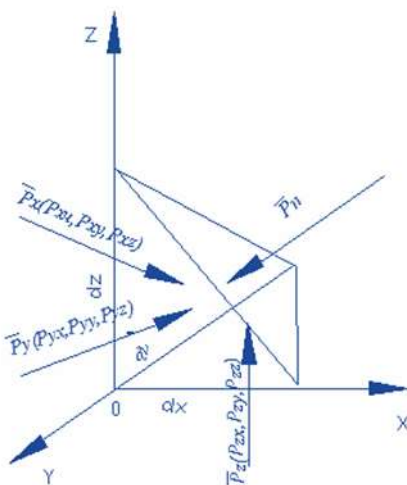
Real suyuqliklarda gidrodinamik bosim mavjud bo`lib, harakat yo`q bo`lgan holda u gidrostatik bosimga aylanadi. Gidrodinamik bosimning xossalari gidrostatik bosim xossalriga qaraganda umumiyroqdir. Gidrodinamik bosim suyuqlikdagi ichki kuchlarni ifodalovchi va kuchlanish kuchlari deb ataluvchi kuchlar tarkibiga kiradi. Suyuqlik ichida joylashgan biror elementar hajmni kuzatsak, unga tashqaridagi suyuqlik massasi ma'lum bir kuch bilan ta'sir qiladi. Ana shu kuchning tasir etayotgan yuzaga nisbati kuchlanish deyiladi.



Ser Jorj Gabriel Stokes (1819-1903) - irlandiyalik ingliz matematigi, mexanik va fizik olim. U Kembrij universitetida ishlagan, suyuqlik va gaz dinamikasiga (Navier-Stoks tenglamalari orqali), katta hissa qo'shgan. London Qirollik jamiyati a'zosi (1851), (1854-1885) yillarda jamiyat kotibi va (1885-1890) yillarda jamiyatning prezidenti bo'lib faoliyat yuritgan.

Ser Jorj Gabriel Stokes

Bu kuchni to`laroq ko`z oldimizga keltirish uchun tomonlari dx , dy , dz ga teng bo`lgan tetraedr ko`rinishidagi elementar hajm ajratib olamiz (3.7.1 - 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 p_z kuchi.



3.7.1 - rasm. Real suyuqliklarda kuchlanish tenzorini tushuntirishga doir chizma

Bu kuchlarning har biri x , y va z o`qlari bo`yicha proyeksiyaga ega:

$$\begin{aligned} & \bar{p}_x \{p_{xx}, p_{xy}, p_{xz}\} \\ & \bar{p}_y \{p_{yx}, p_{yy}, p_{yz}\} \\ & \bar{p}_z \{p_{zx}, p_{zy}, p_{zz}\} \end{aligned}$$

Shunday qilib, P kuchni to'qqizta kuch bilan almashtirish mumkin bo'ladi. Bunday xususiyatga ega bo'lgan kattaliklar tenzor deb ataladi va quyidagicha yoziladi:

$$\bar{p}_n \left\{ \begin{array}{l} p_{xx}, p_{xy}, p_{xz} \\ p_{yx}, p_{yy}, p_{yz} \\ p_{zx}, p_{zy}, p_{zz} \end{array} \right\} \quad (3.26)$$

Bu kuchlardan uchta p_{xx} , p_{yy} , p_{zz} tetraedr yon sirtlariga normal bo'yicha yo'nalgan bo'lib, ular kuchlanish tenzorining normal tashkil etuvchilari deyiladi. Tenzorning qolgan oltita tashkil etuvchisi sirtlarga urinma bo'yicha yo'nalgan bo'lib, kuchlanish tenzorining urinma tashkil etuvchilari deyiladi. Urinma tashkil etuvchilar quyidagi xossaga bo'ladi:

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

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

$$\begin{aligned} p_{xx} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x}, \\ p_{yy} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y}, \\ p_{zz} &= -p + 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z}, \\ p_{xy} &= p_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right), \\ p_{xz} &= p_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right), \\ p_{yz} &= p_{zy} = \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3.27)$$

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:

$$\begin{aligned} & Ox \text{ bo'yicha } p_{xx}, p_{yy}, p_{zz} \\ & Oy \text{ bo'yicha } p_{xy}, p_{yy}, p_{zy} \\ & Oz \text{ bo'yicha } p_{xz}, p_{yz}, p_{zz}. \end{aligned}$$

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 printsiptidan foydalanib harakat tenglamasini tuzamiz. U quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$\begin{aligned} \frac{du_x}{dt} &= X + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zx}}{\partial z} \right) \\ \frac{du_y}{dt} &= Y + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z} \right) \\ \frac{du_z}{dt} &= Z + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3.28)$$

Olingan 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'ulotlarga doir ko`rsatma:

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

Yeshimi: suyuqlikning tezlik maydoni potentsialga ega bo`lishi uchun Laplas tenglamasidan foydalanamiz:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial Y^2} = 0$$

U holda

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

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

bu yerda: $\nabla^2 \varphi = 8 - 8 = 0$

Demak, tezlik maydoni berilgan potentsialga ega bo'lishi mumkin.

Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Agar kesimlardagi harakat kesimining yuzasi $\omega_1 = 0,5 \text{ m}^2$; $\omega_2 = 0,7 \text{ m}^2$ va $\omega_3 = 0,4 \text{ m}^2$ bo'lib, $V_3 = 0,8 \text{ m/s}$ bo'lganda, oqim sarfi va o'rtacha tezligini aniqlang.

2. To'g'ri burchakli to'rtburchak shaklidagi ketma-ket ulangan quvurlarning gidravlik elementlarini (sarf, o'rtacha tezlik, gidravlik radius, ho'llangan perimetr) aniqlang: $h_1 = 1,0 \text{ m}$; $b_1 = 1,5 \text{ m}$; $h_2 = 1,2 \text{ m}$; $b_2 = 1,8 \text{ m}$, $V_2 = 0,5 \text{ m/s}$ bo'lsin.

3. Oqim harakat tezligining proyeksiyasi berilgan: $u_x = 8x$; $u_u = -8u$. Oqim chizig'ining trayektoriyasini toping.

4. Oqim trayektoriyasi tenglama orqali berilgan bo'lsa, uning 10 sekunddan keyingi tezligini aniqlang.

5. Tajribalar asosida olingan tezlik proyeksiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ldi: $u_x = 5xy + 2$; $u_y = 2x - 5xy$. Tajriba to'g'ri o'tkazilganmi?

3.7 Elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi

Yuqorida keltirilgan Eyler va Nave-Stoks tenglamalar sistemalarini yechish yo'li bilan suyuqlik 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:

$$\underbrace{\frac{du_x}{dt} dx + \frac{du_y}{dt} dy + \frac{du_z}{dt} dz}_{A} = \underbrace{Xdx + Ydy + Zdz}_{B} - \underbrace{\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right)}_{C} \quad (3.30)$$

(3.21) munosabatdan ko`rinib turibdiki,

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

Shu munosabatdan foydalanib. (3.30) tenglamaning chap tomonini quyidagi ko`rinishga keltiramiz:

$$\frac{\partial u_y}{\partial t} u_x dt + \frac{\partial u_y}{\partial t} u_y dt + \frac{\partial u_z}{\partial t} u_z dt = u_x du_x + u_y du_y + u_z du_z = \frac{1}{2} d(u_x^2 + u_y^2 + u_z^2) \quad (3.31)$$

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 differentsialidir. Agar shu potentsialni $F = f(x, y, d)$ 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 differentsialini ifodalaydi, ya'ni

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

(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 oqimchanning 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:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \quad (3.37)$$



Daniil Bernulli (1700—1782) – Shveytsariyalik olim, Rossiya Fanlar Akademiyasining aʼzosi, mexanika va matematikada olamshumul kashfiyotlar muallifi, gidrodinamika asoschilaridan biri.

Daniil Bernulli

Keltirilgan (3.37) tenglama 1738 y. Bernulli tomonidan taklif etilgan boʻlib, uning nomi bilan ataladi va gidrodinamikaning asosiy tenglamasi hisoblanadi.

Bu tenglama ixtiyoriy ikkita kesim uchun olingan boʻlib, bu kesimlarning elementar oqimcha yoʻnalishi boʻyicha qayerda olinishining ahamiyati yoʻq. Shuning uchun Bernulli tenglamasini quyidagi koʻrinishda ham yozish mumkin:

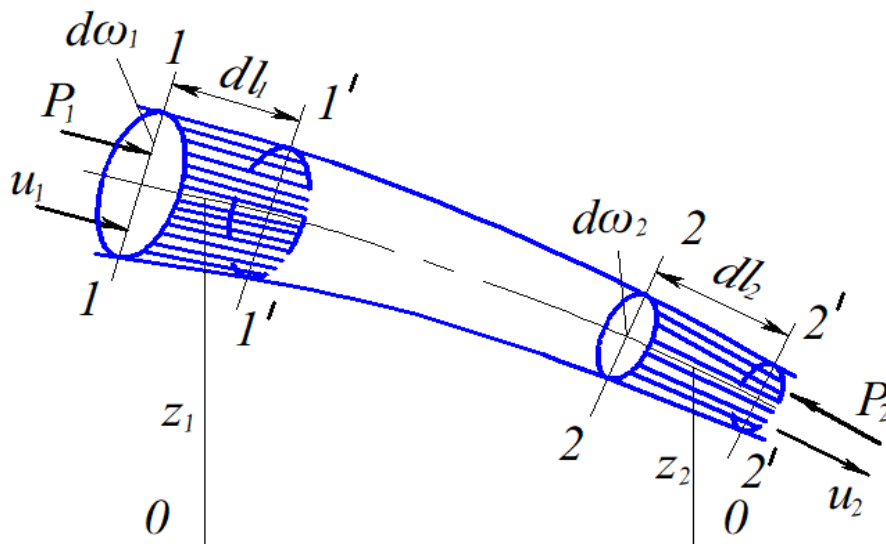
$$\frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = const \quad (3.38)$$

Koʻrinib turibdiki, Bernulli tenglamasida asosan $z, \frac{p}{\gamma}, \frac{u^2}{2g}$ kattaliklarning yigʻindisi oʻzgarmas ekan. Shunday qilib, bu tenglama tezlik u , bosim p , zichlik ρ oʻrtasidagi munosabatni ifodalaydi.

D. Bernullining oʻzi yuqoridagi tenglamani kinetik energiyaning oʻzgarishi qonunidan keltirib chiqargan boʻlib, biz keltirgan usul esa Eyler tomonidan qoʻllanilgan.

Ikkinchi usul kinetik energiyaning oʻzgarish qonunidan foydalanib bajariladi. Harakat oʻqi 1 - 1 boʻlgan biror elementar oqimchanning 1 -1 va 2-2 kesimlar bilan ajratilgan boʻlagini olamiz. U holda bu boʻlak dt vaqtda 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 boʻlsin. 2-2 kesimning yuzasi esa $d\omega_2$, unga ta'sir qiluvchi kuch P_2 , tezlik esa u_2 boʻlsin. Kinetik energiyaning oʻzgarish qonunini elementar oqimchanning ana shu harakatdagi boʻlagiga tatbiq qilamiz. Bu qonun boʻyicha biror jism harakati vaqtida uning kinetik energiyasining oʻzgarishi, shu jismga ta'sir qilayotgan kuchlarning bajargan ishlarining yigʻindisiga tengdir. Bu gapning matematik ifodasi quyidagicha boʻladi:

$$d\left(\frac{m_1 u_1^2}{2}\right) = \sum P l \quad (3.39)$$



3.8 - rasm. Bernulli tenglamasini keltirib chiqarishga doir chizma.

bu yerda: $d\left(\frac{mu^2}{2}\right)$ – kinetik energiyaning dt vaqtda oʻzgarishi; $\sum Pl$ –

barcha kuchlar bajargan ishlarning yigʻindisi. Endi elementar oqimcha boʻlagining dt vaqt ichida 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi holatdan 1'-1' va 2'-2' kesimlar orasidagi holatga kelgandagi kinetik energiyaning oʻzgarishini koʻramiz. Harakat barqaror boʻlgani uchun bu oʻzgarish 1 - 1 va 1' - 1' orasidagi boʻlak bilan 2 - 2 va 2' - 2' orasidagi boʻlak kinetik energiyalari ayirmasiga teng.

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

$$\frac{m_2 u_2^2}{2} - \frac{m_1 u_1^2}{2} \quad (3.40)$$

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

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

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

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

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

$$dl_1 = u_1 dt, \quad dl_2 = u_2 dt \quad (3.41)$$

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 qoʻysak va uzilmaslik tenglamasidan $q = u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2$ ekanligini nazarga olsak, kinetik energiyaning oʻzgarishi 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'irlik kuchining bajarilgan ishlaridir. Elementar oqimchaning yon sirtlariga ta'sir qiluvchi bosim kuchining bajarilgan ishi esa nolga teng ekanligi harakatning barqarorligidan ko'rinadi.

1-1 kesimga ta'sir etuvchi p_1 bosimning bajarilgan ishini A_1 2-2 kesimga ta'sir etuvchi p_2 bosimning bajarilgan ishini A_2 bilan belgilaymiz. U holda, 1. 35-rasmdan ko'rinib turibdiki,

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

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

$$A_1 = p_1 q dt, \quad A_2 = p_2 q dt \quad (3.43)$$

Og'irlik kuchi bajarilgan ishni A_3 deb belgilaymiz. Bu ish (1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi bo'lak o'z holatini saqlagani uchun) 1-1 va 1'-1' orasidagi bo'lak bilan 2-2 va 2'-2' orasidagi bo'laklar og'irliklarini ular markazlarining vertikal o'qi bo'yicha holatlari z_1 va z_2 ning ayirmasiga ko'paytirilganiga teng, ya'ni

$$A_3 = G(z_1 - z_2),$$

lekin

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

bo'lgani uchun

$$A_3 = \gamma q dt (z_1 - z_2). \quad (3.44)$$

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

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

bu yerda p_2 kuch suyuqlik harakatiga teskari yo'nalgan bo'lgani uchun tenglamaning o'ng tomonidagi ikkinchi had (ya'ni A_2) manfiy ishora bilan olindi. Oxirgi tenglamaning ikki tomonini $\gamma q dt$ ga bo'lsak:

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

Bir xil indeksli hadlarni gruppalar 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 ifodalaydi.

3.8 Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari

Bernulli tenglamasining har bir hadi o'zining geometrik va energetik mazmunlariga ega. Buni aniqlash uchun biror elementar oqimcha olib, uning 1-1, 2-2 va 3-3 kesimlarini ko'ramiz (3.9 - rasm). Bu kesimlarning og'irlik markazi biror 0-0 tekislikdan z_1 , z_2 va z_3 masofalarda bo'lsin. Bular qiyosiy tekislik 0-0 dan elementar oqimchaning geometrik balandliklarini ko'rsatadi. Endi olingan 1-1, 2-

2 va 3 - 3 tekisliklar markazida pezometr (to'g'ri shisha naycha) va uchi egilgan shisha naychalar o'rnatamiz. Bu holda pezometrlarda suyuqlik kesimlar og'irlik markaziga nisbatan ma'lum balandliklarga ko'tariladi. Bu ko'tarilish gidrostatika qismida ko'rganimizdek kesimlarda

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma}, \quad h_2 = \frac{p_2}{\gamma}, \quad h_3 = \frac{p_3}{\gamma}$$

ga teng bo'ladi.

h_1, h_2, h_3 lar pezometrik balandliklar deb ataladi. Odatda, pezometrlar yordamida quvurlar va suyuqlik harakat qilayotgan boshqa idishlarda gidrodinamik bosim o'lchanadi.

Uchi egilgan shisha naychalarda suyuqlik pezometrlardagiga qaraganda balandroqqa ko'tariladi. Buning sababi shundaki, uchi egilgan shisha naylarda uning egilgan uchi suyuqlik harakati yo'nalishida bo'lib, gidrodinamik bosimga qo'shimcha suyuqlik tezligiga bog'liq bo'lgan, bosim paydo bo'ladi. Bunda suyuqlik zarrachalarining inertsia kuchi qo'shimcha bosimga sabab bo'ladi. Uchi, egilgan shisha naychalardagi balandlik quyidagilarga teng:

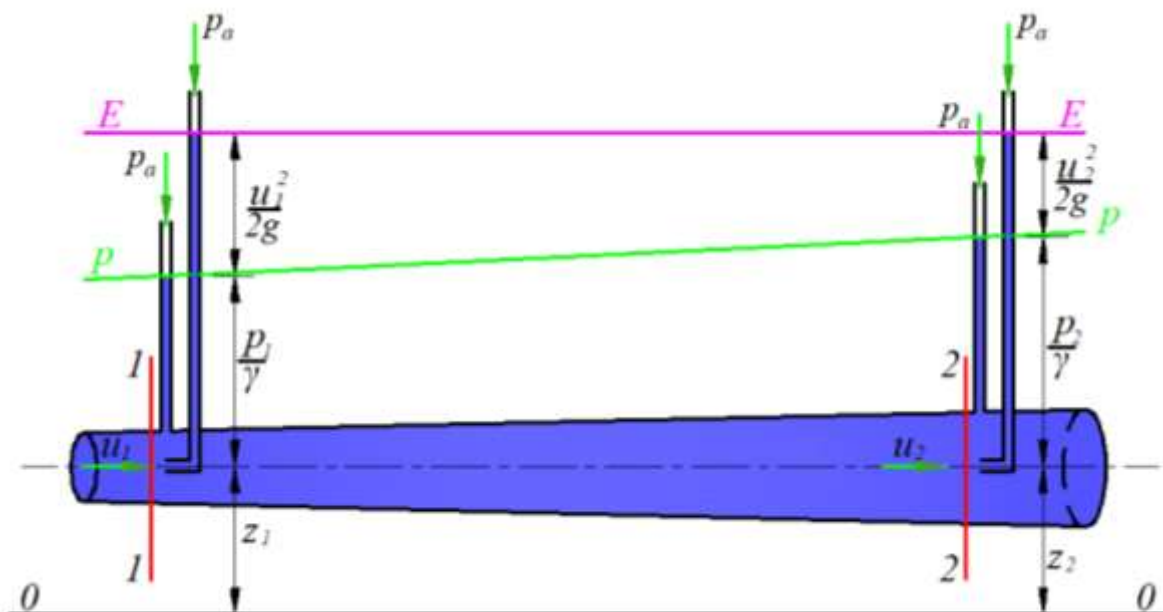
$$h_1' = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}; \quad h_2' = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}; \quad h_3' = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{u_3^2}{2g}$$

Pezometrda suyuqlik balandligi bilan uchi egilgan shishalardagi balandlik farqi

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

larga teng bo'ladi va tezlik nabori (balandligi) deyiladi.

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



3.9 - rasm. Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlariga doir chizma.

Bernulli tenglamasining geometrik ma'nosi

Belgi	Geometrik ma'nosi
z	Geometrik balandlik
$h_p = \frac{p}{\gamma}$	P'ezometrik balandlik
$z + \frac{p}{\gamma}$	P'ezometrik napor
$h_v = \frac{u^2}{2g}$	Tezlik napori
$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$	Gidrodinamik napor

Bernulli tenglamasining energetik ma'nosi

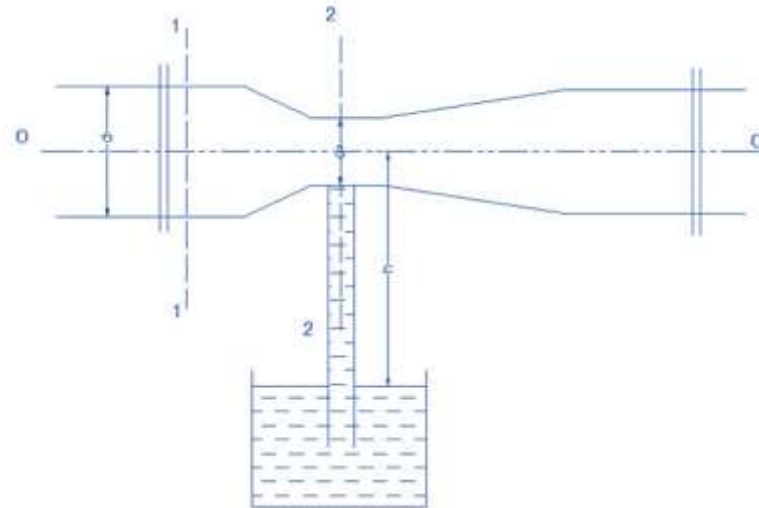
Belgi	Energetik ma'nosi
$E_x = \frac{mgz}{mg} = z$	<u>Solishtirma holat energiyasi</u>
$E_p = \frac{mg \left(\frac{p}{\gamma} \right)}{mg} = \frac{p}{\gamma}$	<u>Solishtirma bosim energiyasi</u>
$H_p = z + \frac{p}{\gamma}$	<u>Solishtirma potensial energiya</u>
$E_k = \frac{m u^2}{mg \cdot 2} = \frac{u^2}{2g}$	<u>Solishtirma kinetik energiya</u>
$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$	<u>Solishtirma To'la energiya</u>

Yuqoridagilardan xulosa qilib aytish mumkinki, ideal suyuqlik harakat davomida suyuqlik potensial va kinetik energiyalari o'zgarishi bilan solishtirma to'la energiya o'zgarmas qoladi.

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma

Masala. Struyali nasos yordamida suv $h = 0,5$ m chuqurlikdan ko'tarilmoqda. Agar quvur diametri $d = 100$ mm, 1-1 kesimdagi bosim $P_M = 40$ kPa, suv tezligi

$g_1 = 1,12 \text{ m/s}$ 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:

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

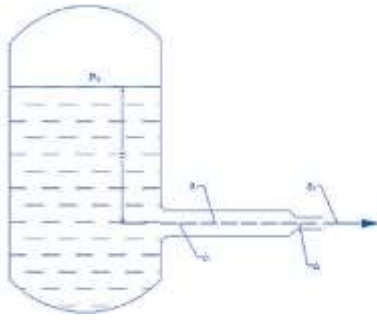
Mustaqil yechishga doir masalalar:

1. Rezervuardan suv diametri $d = 30 \text{ mm}$ bo'lgan quvur orqali atmosferaga oqib chiqmoqda, agar rezervuardagi manometrik bosim $P_M = 0,2$ atmosfera bo'lib, dam (napor)i $H = 1,5$ bo'lsa, quvurdagi suv sarfini aniqlang (3.11 - rasm).

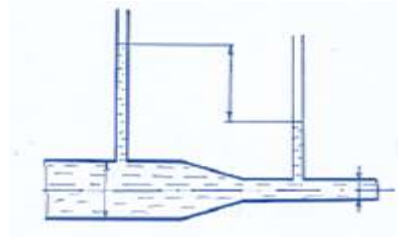
2. Suyuqlik ketma-ket ulangan har xil diametrli quvurlar orqali atmosferaga chiqmoqda. Agar ikkinchi quvurdagi tezlik $g_2 = 0,8 \text{ m/s}$ bo'lsa, birinchi quvurdagi tezlik $g_1 = 2 \text{ m/s}$ bo'lishi uchun, birinchi quvurdagi bosim qanday bo'lishi kerak (3.12 - rasm).

3. Quvurdagi suv sarfini aniqlash uchun Venturi naychasidan foydalaniladi. Agar quvurga o'rnatilgan pezometrlar farqi $h = 16 \text{ sm}$ bo'lib, quvur diametri $D = 20 \text{ sm}$, naychani diametri $d = 14 \text{ sm}$ bo'lganda quvurdan o'tayotgan sarfini aniqlang (3.13 - rasm).

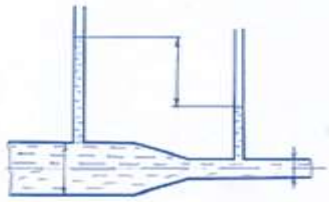
4. Agar naychani diametri $d = 5 \text{ sm}$, quvurning diametri $D = 100 \text{ mm}$ va quvurdagi bosim $P_1 = 0,4 \text{ at}$ bo'lsa, naychaga ulangan quvurda suv qaysi balandlikka ko'tariladi? (3.14 - rasm)



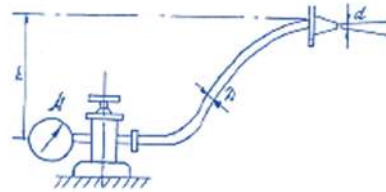
3.11 - rasm.



3.12 - rasm.



3.13 - rasm.



3.14 – rasm

3.9 Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun D.Bernulli tenglamasi

Endi real suyuqlik elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasining grafigini chizamiz Buning uchun harakat o`qi S - S, 1 - 1, 2 - 2 va 3 - 3 kesimlardagi tezliklar u_1, u_2, u_3 , bosimlari p_1, p_2, p_3 bo`lgan elementar oqimcha olamiz. Bu oqimcha uchun kesimlarda pezometr va uchi egilgan shisha naycha olamiz. Pezometrlardagi suyuqlik balandliklarini tutashtirib, pezometrik chiziq ($P-P$) ni hosil qilamiz. Uchi egik naychalarda suyuqlik balandliklarini tutashtirib, suyuqlik bosimi (dami) shizig`i ($H-H$) ni hosil qilamiz. Qurilgan grafigni ideal suyuqlik elementar oqimchasi uchun olingan grafik (3.15 - rasm) bilan solishtiramiz. Natijada ideal suyuqliklar uchun oqimchani birinchi kesimidagi gidrodinamik bosimi H_1 ikkinchi va uchinchi kesimlardagi gidrodinamik bosimlarga tengligini, ya'ni $H_1 = H_2 = H_3 = const$ ekanligini real suyuqlik uchun birinchi kesimdagi gidrodinamik bosim H_1 ikkinchi va uchinchi kesimlardagi bosimlarga tengmasligini, ya'ni $H_1 \neq H_2 \neq H_3$ ekanligini ko`ramiz. 3.15 - rasmga muvofiq bu tengsizlik quyidagicha ifodalanadi:

$$H_1 > H_2 > H_3$$

Demak, real suyuqlikning elementar oqimchasi harakat qilganda solishtirma energiyaning ma'lum bir qismi yo`qotilar ekan; birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi bu yo`qotishni h_{1-2} bilan belgilaymiz. Bunda indeks orasida yo`qotish bo`layotgan kesimlar nomerini ko`rsatadi. Masalan, ikkinchi va uchinchi kesim orasida yo`qotish h_{2-3} birinchi va uchinchi kesim orasidagi yo`qotish h_{1-3} va hokazo. Aytilgan yo`qotishning mohiyatini quyidagicha izohlash mumkin. Real suyuqlik elementar oqimchasi harakat qilayotganda ichki ishqalanish kuchi natijasida gidravlik qarshilik paydo bo`ladi va uni yengish uchun albatta ma'lum bir miqdorda energiya sarflash kerak. Bu sarflangan energiya ko`rilayotgan

harakat uchun tiklanmaydi. Yuqorida keltirilgan tengsizlik ana shu yo`qotilgan energiya hisobiga bo`ladi. Birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi yo`qotilgan solishtirma energiya gidravlik bosimlar farqiga teng:

$$h_{1-2} = H_1 - H_2.$$

Yuqorida ko`rilganga asosan

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

bundan

$$h_{1-2} = \left(\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 \right),$$

natijada quyidagi tenglamani olamiz:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{1-2}. \quad (3.46)$$

3.10 Real suyuqliklar oqimi uchun D.Bernulli tenglamasi. Koriolis koefitsiyenti

Oqim cheksiz ko`p elementar oqimchalardan tashkil topganligidan shu oqimchalar energiyalarining harakat kesimi bo`yicha integralini olish yo`li bilan oqim uchun Bernulli tenglamasini hosil qilish mumkin:

$$\int_{\omega_1} \frac{u_1^2}{2g} d\omega + \int_{\omega_1} \frac{p_1}{\gamma} d\omega + \int_{\omega_1} z_1 d\omega = \int_{\omega_2} \frac{u_2^2}{2g} d\omega + \int_{\omega_2} \frac{p_2}{\gamma} d\omega + \int_{\omega_2} z_2 d\omega + \int_{\omega_2} h_{1-2} d\omega. \quad (3.47)$$

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 ϑ bilan almashiriladi. Bu esa Bernulli tenglamasi foydalaniladigan hisoblash ishlarida katta qulaylik tug`diradi. Bu holda elementar oqimcha geometrik balandligi bo`yicha integral oqimning harakat kesimi og`irlik markazining geometrik balandligiga, bosim bo`yicha integral esa ana shu geometrik balandlikdagi nuqtaga qo`yilgan bosimga aylanadi. Elementar oqimchanning 1-1 va 2-2 kesimlarida bosimning kamayishi bo`yicha integral ham oqim uchun bosimning o`rtacha kamayish miqdoriga aylanadi. Solishtirma kinetik energiyaning integralini tezlikning o`rtacha qiymati bo`yicha kinetik energiya bilan almashtirsak, uning miqdori kamayib qoladi. Integral cheksiz ko`p miqdorlarning yig`indisi bo`lgani uchun buni yig`indilar kvadratlarining misolida ko`ramiz. Masalan, $u_1 = 10$ m/s, $u_2 = 11$ m/s, $u_3 = 9$ m/s, $u_4 = 12$ m/s, $u_5 = 8$ m/s bo`lsin. U holda o`rtacha tezlik:

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

tezliklar kvadratlarining o`rtacha qiymati

$$\frac{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2}{5} = \frac{510}{5} = 102 \text{ m}^2/\text{s}^2,$$

o`rta tezlikning kvadrati esa $\vartheta^2 = 100$ m²/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:

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

Bu tengsizlikni integrallash yo`li bilan ham isbotlash mumkin. (Bunday isbotni talabalarning o`zlari bajarishini taklif qilamiz). Bu xatoni tuzatish uchun Bernulli tenglamasining birinchi hadiga α koeffitsiyentini kiritamiz. Bu koeffitsiyent tezlikning bir tekis miqdorda bo`lmasligini ifodalaydi va Koriolis koeffitsiyenti deb ataladi. U holda

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

Shunday qilib, yuqorida aytilganlarga asosan (3.47) tenglama quyidagi ko`rinishga keladi:

$$\frac{\alpha_1 u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + H_{1-2}, \quad (3.48)$$

bu yerda: α_1, α_2 – birinchi va ikkinchi kesimlarda tezlikning notekis tarqalganini hisobga oluvchi koeffitsiyent; H_{1-2} – birinchi va ikkinchi kesimlar orasida naporning (bosimning) kamayishi.

Oqim uchun Bernulli tenglamasida qolgan boshqa hadlar elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasida qanday atalsa, bu yerda ham shunday ataladi. Bu tenglama gidrodinamika masalalarini hal qilishda eng muhim tenglama bo`lib, u barqaror harakatlar uchun yozilgan va tezlik harakat kesimi bo`yicha qancha kam o`zgarsa, shuncha kam xatolik beradi.

3.11 Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi

Odatda, harakat yo`nalishi bo`yicha bosim kamayib boradi. Suyuqliklarda hajmiy siqilish koeffitsiyenti β_p juda kichik bo`lgani uchun bu o`zgarish suyuqlikning fizik xossalariga ta'sir qilmaydi. Lekin gazlarda bosimning ozgina o`zgarishi ham uning parametrlariga ta'sir qiladi. Bundan tashqari, gazlarda suyuqliklarga qaraganda tezlik bir necha o`n baravar katta bo`ladi. Bu esa bosimga va gazning fizik xossalariga, birinchi galda uning solishtirma og`irligiga ta'sir qiladi. Ammo gaz oqimining ko`ndalang kesimi bo`yicha tezlik deyarli o`zgarmaydi. Shuning uchun gazlarda $\alpha \approx 1$ bo`ladi. Gazlar uchun tezlik, bosim, solishtirma og`irlik tez o`zgaradi uchun birinchi va ikkinchi kesim (3.16 - rasm) orasidagi masofani cheksiz kichik Δl deb olamiz. U holda Bernulli tenglamasi differentsial ko`rinishda quyidagicha yoziladi:

$$d\left(\frac{g^2}{2g}\right) + \frac{dp}{\gamma} + dz - dh_{1-2} = 0 \quad (3.49)$$

bu yerda:

$$d\left(\frac{g^2}{2g}\right) = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \left(\frac{g_1^2 - g_2^2}{2g}\right),$$

$$d\left(\frac{p}{\gamma}\right) = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma}\right),$$

$$dz = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} (z_1 - z_2).$$

Endi (3.49) tenglamadan integral olamiz. U holda (3.49) quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$\int d\left(\frac{g^2}{2g}\right) + \int d\frac{p}{\gamma} + \int dz - \int dh_{1-2} = const \quad (3.50)$$

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

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

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

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

bo`ladi. Bu tenglikdan

$$\gamma = p^{\frac{1}{n}} \frac{\gamma_0}{p_0^{\frac{1}{n}}}, \quad (3.51)$$

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

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

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

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

Natijada (3.40) tenglama quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$\frac{g^2}{2g} + \frac{n}{n-1} \frac{p}{\gamma} + z - h_n = const \quad (3.52)$$

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 g , p , z ni bog`lagan bo`lsa, bu tenglama to`rtta qiymat g , p , z , γ ni bog`laydi. Shuning uchun gazlar harakati tekshirilganda Bernulli tenglamasi (3.21) bilan birgalikda foydalaniladi.

3.12 Hidravlik 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. Hidravlik qiyalikning ta'rifidan ko'rinib turibdiki, uning o'rtacha qiymati 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi qiyalik orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{1-2} = \frac{\left(\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{l_{1-2}} = \frac{H_{1-2}}{l_{1-2}} \quad (3.54)$$

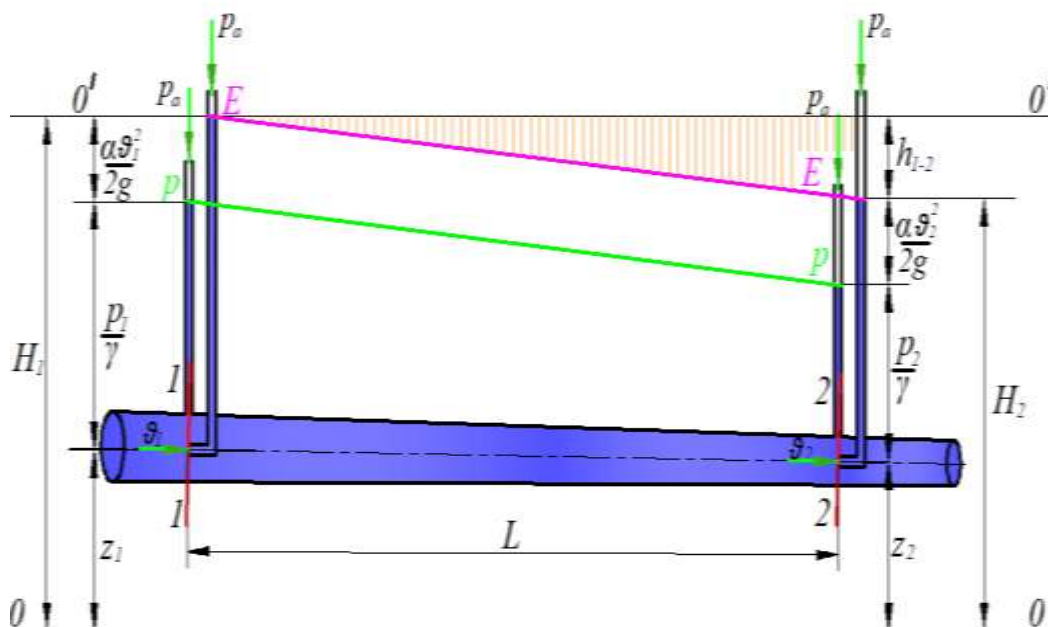
bu yerda: l_{1-2} – birinchi va ikkinchi kesimlar orasidagi masofa; H_{1-2} – shu masofa orasida dam (bosim) ning pasayishi.

Agar bosim chizig'i egri chiziq bo'lsa, u holda gidravlik qiyalik differentsial ko'rinishda yoziladi:

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

Pezometrik chiziqning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan pasayishi pezometrik qiyalik deb ataladi. Birinchi va ikkinchi kesim orasidagi (3.15 - rasm) o'rtacha pezometrik qiyalik quyidagicha aniqlanadi:

$$I_{p1-2} = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{l_{1-2}}. \quad (3.55)$$



3.16 - rasm Hidravlik va pezometrik nishabliklar.

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

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

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

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

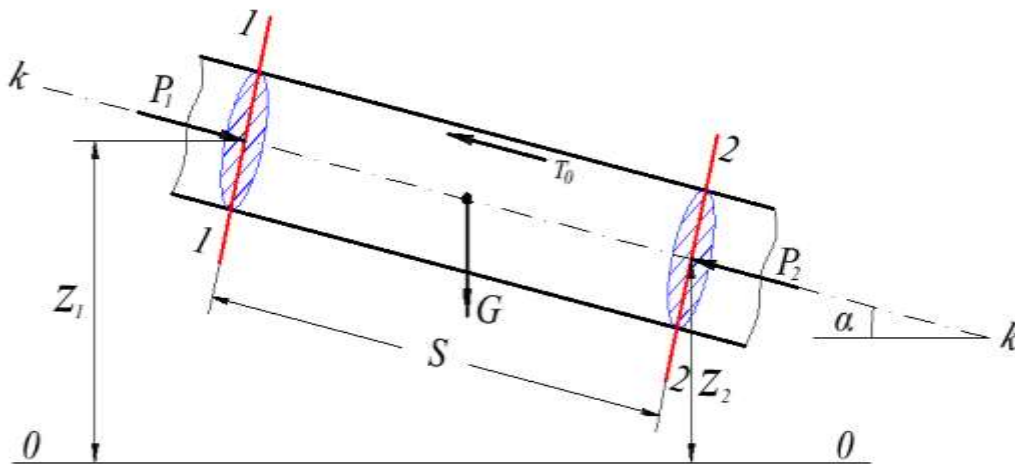
Real suyuqliklarda ikki kesim orasida energiya yo'qotilishini H_{1-2} bilan belgiladik. Bu yo'qotish suyuqliklardagi qovushqoqlik kuchi hisobiga bo'ladi, ya'ni u shu kuchni yengishga sarf bo'ladi.

Quvurlardagi harakatni tekshirganimizda masala asosan ishqalanish kuchini yengish uchun sarf bo'lgan yo'qotishni hisoblashga keladi. Bu holda quvurning 1-1 va 2-2 kesimlarining sirti teng bo'lgani uchun 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) $G = \gamma\omega l$ - og'irlik kuchi;
- 3) $T = \tau\pi D l$ - ishqalanish kuchidir.

1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi suyuqlikning muvozanat holati tenglamasi unga ta'sir qilayotgan kuchlar orqali quyidagicha yoziladi:

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



3.17 - rasm. Gidravlik yo'qotish tushunchasiga doir.

$\sin \alpha = \frac{z_1 - z_2}{l}$ 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:

$$h_{1-2} = \frac{\tau}{\gamma} \frac{\pi D l}{\omega} \quad (3.56)$$

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'siqlar, keskin kengayishlar, keskin torayishlar, kranlar va h.) bo'lib, bu yerdagi gidravlik yo'qotish uzunlikka bog'liq emas.

Umumiy gidravlik yo'qotish bu ikki yo'qotishning yig'indisiga teng

$$H_n = H_l + H_m \quad (3.57)$$

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 proporsional qilib olinadi.

3.14 Tezlik va sarf o'lchash usullari hamda asboblari

Suyuqlik sarfini va tezligini o'lchashning eng oson usuli hajmiy va og'irlik usullaridir.

1. Hajmiy usulda tekshirilayotgan oqimdan suyuqlik maxsus darajalangan idish (menzurka) ga tushadi. Idishning to'lish vaqti 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'irlik usulida biror idishga oqimdan suyuqlik tushiriladi. Tarozida o'lchash yo'li bilan idishdagi suyuqlikning og'irligi topiladi. Idishning to'lish vaqti T bo'lsa, og'irlik sarfi quyidagiga teng:

$$G = \frac{GV}{T}$$

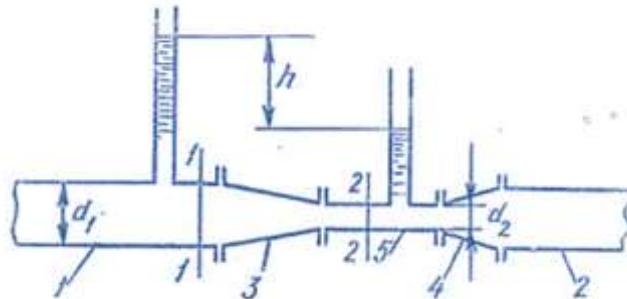
Suyuqlikning hajmiy sarfi og'irlik bo'yicha sarfini solishtirma og'irlikka bo'lish yo'li bilan aniqlanadi:

$$Q = \frac{G}{\gamma}$$

Bu usullar, albatta, kichik miqdordagi sarflarni o'lchash uchun qo'llaniladi. Katta sarflarni o'lchash uchun esa juda katta o'lchov idishlari kerak bo'ladi. Ikkinchidan, quvur va kanallarda sarfni yuqoridagi usul bilan o'lchaganda

oqimning tuzilishi o'zgaradi va o'lchash natijasi katta xatolar bilan chiqadi. Shuning uchun ko'pincha quvurlar va kanallardagi sarf boshqa usullar bilan o'lchanadi.

3. Venturi suv o'lchagichi maxsus quvurdan suv o'tishiga asoslangan bo'lib, tuzilishi sodda va harakatlanuvchi qismlari yo'qdir (3.18-rasm). Bu asbob talabga qarab vertikal yoki gorizontal joylashtiriladi. Uning gorizontal holdagisini ko'ramiz.



3.18 - rasm. Venturi suv o'lchagichi

Venturi suv o'lchagichi ikkita bir xil d_1 diametrli 1 va 2 quvur bo'laklaridan tashkil topgan bo'lib, ular 3 va 4 diffuzorlar hamda kichik d_2 diametrli quvur bo'lagi (patrubok) orqali tutashtirilgandir. Uning 1-1 va 2-2 kesimlariga pezometrik naychalar o'rnatilgan bo'lib, ular shu kesimlardagi bosimlar farqi h ni ko'rsatadi. Quvur gorizontal bo'lgani uchun ($z_1 = z_2$), 1-1 va 2- kesimlariga Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

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

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

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

Uzilmaslik tenglamasi (3.14) ga asosan

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

u holda

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

bundan 2-2 kesimdagi tezlikni topamiz:

$$g_2 = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}} \quad (3.58)$$

U holda suyuqlik sarfi quyidagicha aniqlanadi:

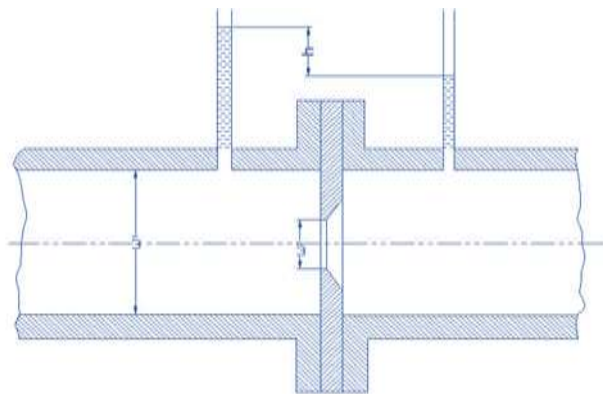
$$Q = g_2 \omega_2 = \omega_2 \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2}}. \quad (3.59)$$

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:

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

m koeffitsiyentining qiymati turli suv o`lchagichlar uchun har xil bo`lib, ular tegishli suv o`lchagich uchun tajribada aniqlab qo`yiladi. Hisoblash ishlarida sarf, odatda, quyidagi soddalashtirilgan formula bilan hisoblanadi:

$$Q = c \sqrt{h}, \quad (3.60)$$



3.19 - rasm Suv o`lchagich shayba.

bu yerda:

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

koeffitsiyent *suv o`lshagich doimiysi* deb ataladi va har bir berilgan suv o`lchagich uchun hisoblab qo`yiladi.

4. Suv o`lchagich shayba (diafragma) ikki quvur bo`lagi o`rtasiga o`rnatilgan halqadan iborat bo`lib (3.19 - rasm) uning ichki aylanma teshigining chekkalari 45° burchak ostida qiyalangan yoki oqib o`tuvchi oqimcha shaklida silliqlashgan (soplo ko`rinishda) bo`ladi. Halqaning ikki tomoniga ikki pezometr yoki differentsial manometr o`rnatilgan bo`lib, ular diafragmaning ikki tomonidagi bosimlar farqini aniqlashga yordam beradi.

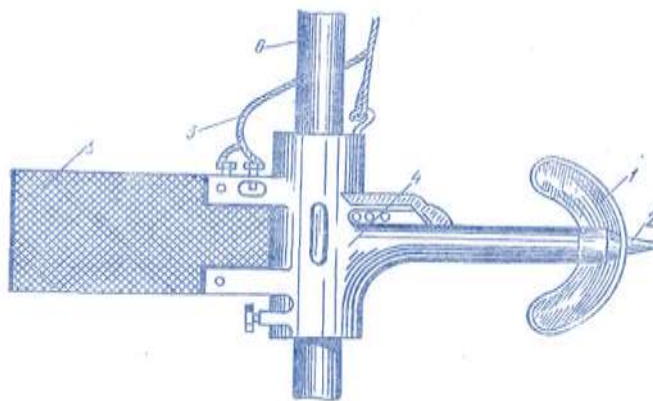
Sarf pezometrlardagi suyuqlik sathlarining farqi orqali, quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q = c_1 \sqrt{h}. \quad (3.61)$$

c_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 vertushkalarining 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:

$$q_1 = \Delta\omega_1 \vartheta_1; \quad q_2 = \Delta\omega_2 \vartheta_2; \quad \dots \quad q_n = \Delta\omega_n \vartheta_n$$



3.20 - rasm. Pirildoq

Kanalda oqayotgan suyuqlik sarfi bu sarflarning yig`indisiga tengdir;

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \Delta\omega_1 \vartheta_1 + \Delta\omega_2 \vartheta_2 + \Delta\omega_3 \vartheta_3 + \dots + \Delta\omega_n \vartheta_n \quad (3.62)$$

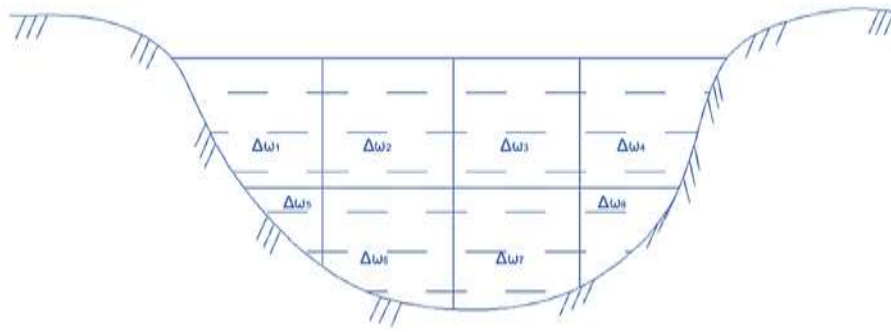
Bu usul gidrometrik o`lchashlarda eng ko`p qo`llaniladigan usuldir.

6. Pito naychasi uchi to`g`ri burchak hosil qilib egilgan naycha bo`lib, uning egilgan uchi suyuqlik oqimi yo`nalishiga qarama-qarshi qilib qo`yiladi. Naychani ikkinchi uchi suyuqlikdan tashqariga chiqib turadi. (3.21 - rasm a). Bu holda ozod sirtida va naychadagi suyuqlik sathida bosim atmosfera bosimga teng. Shuning uchun naychadagi suyuqlikning balandligi h oqimning tezlik bosimini beradi, ya'ni

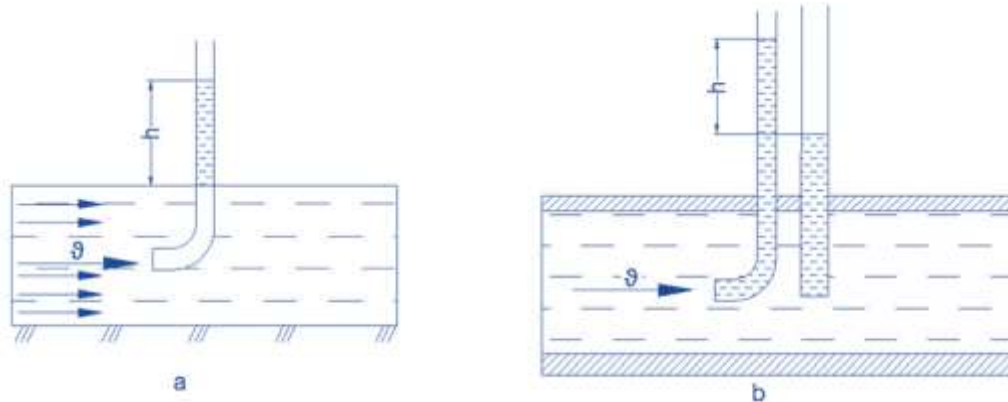
$$h = \frac{\vartheta^2}{2g}$$

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 a kiritiladi:

$$g = \alpha \sqrt{2gh} \quad (3.64)$$

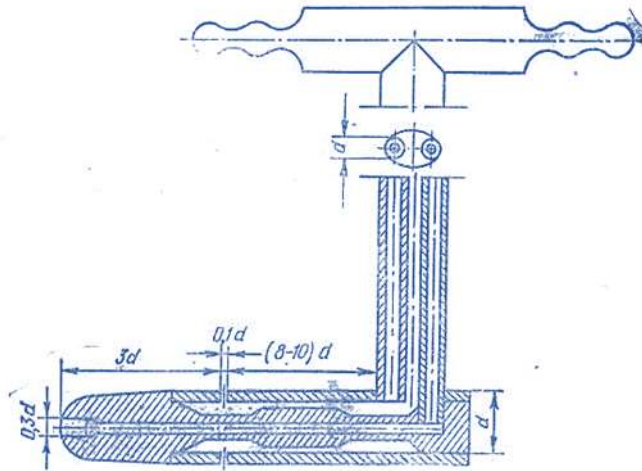
bu yerda: α – koeffitsiyent; u har bir naycha uchun tajriba yo'li bilan aniqlab qo'yiladi.

Pito naychasi ochiq sirtli oqimlarda tezlikni o'lchash uchun qo'llaniladi. **Prandtl naychasi** Pito naychasining qulaylashtirilgani bo'lib, u quvurlardagi tezliklarni o'lchash uchun qo'llaniladi (3.22 - rasm, b) va ikkita naychadan iborat bo'ladi. Ulardan biri Pito naychasi va ikkinchisi pezometrdir. Pezometrdagi suyuqlik balandligi pezometrik bosimni bersa, Pito naychasidagi suyuqlik balandligi to'liq bosim $\frac{p}{\gamma} + \frac{g^2}{2g}$ ni beradi. Shuning uchun bu ikki naychadagi balandliklar farqi tezlik bosimini beradi va uning yordamida tezlik topiladi:

$$g = \alpha \sqrt{2gh} \quad (3.65)$$

Hozirgi mavjud asboblarda bu ikkita naycha bitta katta naycha ichiga joylashtirilgan (3.22 - rasm) bo'lib, ularning uchlari mikromanometr yoki differentsial manometrlarga tutashtirilgan. Agar manometrlardagi suyuqlik oqayotgan suyuqlikdan farq qilsa, Prandtl naychasining uchi tushirilgan nuqtadagi tezlik quyidagi formula bilan topiladi:

$$g = \alpha \sqrt{2gh \left(\frac{\gamma_1}{\gamma} - 1 \right)} \quad (3.66)$$



3.23 - rasm. Prandtl naychasi

bu yerda: h – difmanometr naychalaridagi sathlar farqi; γ_1 va γ – difmanometrda va tekshirilayotgan (oqayotgan) suyuqliklar solishtirma og'irliklari; a – tajribadan topiladigan qiymati 1 dan 1,04 gacha o'zgaruvchi koeffitsiyent. Prandtl naychasi yordamida suyuqlik oqimi kesimining har xil nuqtalarida tezlikni o'lchab, bu kesim bo'yicha tezlikning o'zgarishini va sarfini topish mumkin.

3. bo'yicha nazorat savollari

1. Bosimi teng sirtning tenglamasini ko'rsating.
2. Qanday kuch kuchlanish kuchi deyiladi?
3. Tezlik va sarf o'lchash usullarining qanday turlari mavjud?
4. Hidravlik yo'qotishning turlari.
5. Tezlik va sarf o'lchash usullari
6. Pitonaychasi.

4-bo'lim. 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.

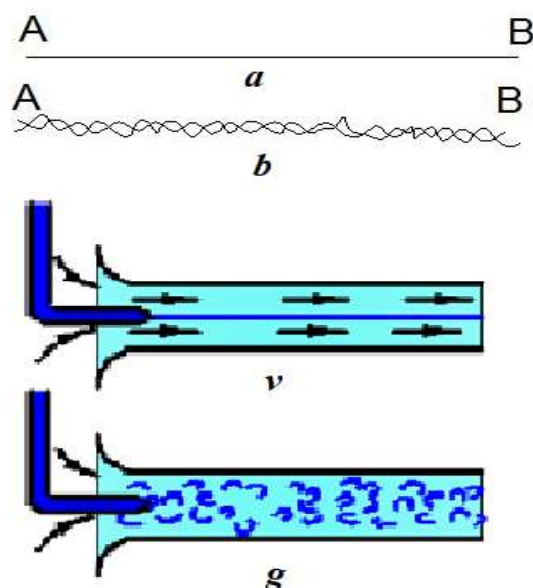
Laminar harakat vaqtida suyuqlik zarrachalari qavat-qavat bo'lib joylashadi va ular bir qavatdan ikkinchi qavatga o'tmaydi. Boshqacha aytganda, suyuqlik zarrachalari oqimlar harakatiga ko'ndalang yo'nalishda harakatlanmaydi va uni quyidagicha ta'riflash mumkin.

Agar harakat fazosida biror A nuqta tanlab olsak, shu nuqtada albatta suyuqlikning biror zarrachasi bo'ladi. Harakat natijasida shu zarracha A nuqtadan siljib uning o'rnini boshqa zarracha egallaydi. Ikkinchi zarracha ham A nuqtada to'xtab turmaydi va uning o'rnini uchinchi zarracha egallaydi va hokazo. Endi A nuqtaga birinchi kelgan zarracha harakatlanib, biror B nuqtaga AB chizigi (4.1 - rasm, a) bo'yicha kelsa, uning ketidan kelgan ikkinchi zarracha ham A nuqtadan B nuqtaga AB chizig'i bo'yicha kelsa, uchinchi zarracha ham aniq AB chizig'i bo'yicha yursa va A nuqtaga kelgan boshqa zarrachalar ham AB chizig'i orqali B nuqtaga kelsa, bunday harakat *laminar harakat* deyiladi. Ba'zi vaqtda laminar harakatning bunday tartibi *parallel oqimli* yoki *tinch harakat* deb ataladi.

Laminar harakatni tajribada kuzatish uchun suyuqlik oqayotgan shisha quvurning boshlang'ich kesimiga shisha naycha orqali rangli suyuqlik keltirib qo'shib yuborsak, rang suyuqlikda aralashmasdan to'g'ri 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'shni qavatga o'tib, energiyasining bir qismini yo'qotib, o'z qavatiga qaytib keladi. Oqim tezligi juda oshib ketsa, zarrachalar bir qavatdan ikkinchi qavatga tez o'ta boshlaydi.

Natijada suyuqlik harakatining tartibi buziladi. Bunday harakat turbulent harakat deyiladi.



4.1 - rasm. Laminar va turbulent harakatga oid chizma

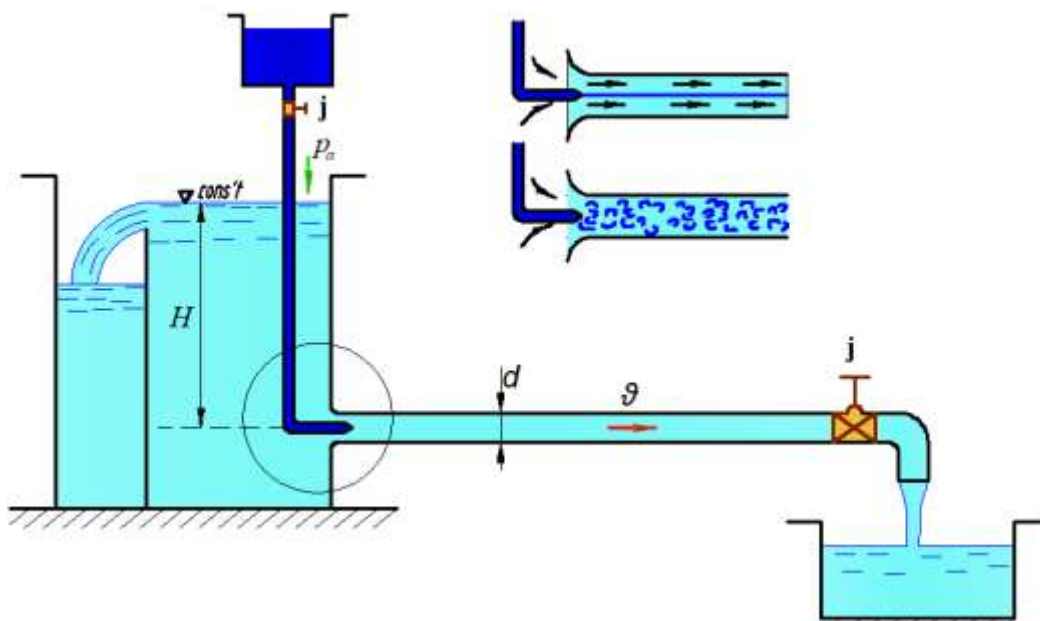
Yuqorida aytganimizdek, A nuqtadan o'tayotgan zarrachalarni ko'rsak, birinchi zarracha B nuqtaga tekis chiziq bilan emas, qandaydir egri-bugri chiziq bo'yicha keladi. Hatto u nuqtaga aniq kelmasligi mumkin. Birinchining ketidan kelayotgan ikkinchi zarracha ham A dan B ga egri-bugri chiziq bilan keladi. 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 miqdoridan boshlab egri chiziq bo'yicha ketadi (4.1-rasm, g). Tezlikni oshirishni davom ettirsak, rang suyuqlikda butunlay aralashib ketadi. Bundan ko'rinadiki, suyuqlikning parallel oqimli tartibi buziladi. Suyuqlik harakatining bu ikki tartibini ingliz olimi O. Reynolds tajribada har tomonlama tekshirgan va natijalarini 1883 yilda e'lon qilgan.



Osborn Reynolds

Osborne Reynol'ds (1842-1912) - Irlandiyada tug'ilgan va suyuqlik dinamikasini tushunishda innovator edi. Qattiq va suyuqliklar o'rtasida issiqlik almashinuvi bo'yicha olib borgan tadqiqotlari qozon va kondensatorning konstruksiyasini yaxshiladi. U butun faoliyatini hozirgi Manchester Universitetida o'tkazdi.

Reynolds suyuqliklar harakatining muhim qonuniyatini kashf qildi. Suyuqlik harakatini tezlikning oqim o'lchamiga ko'paytmasining qovushqoqlik kinematik koeffitsiyentiga nisbatidan iborat o'lchovsiz miqdor xarakterlar ekan.



4.1-rasm, d. Reynolds qurilmasi

Yuqorida bayon etilganidek Reynol'ds soni inertsiya kuchlarining ishqalanish kuchlariga nisbatini ifodalaydi.

Agar hajm birligidagi inertsiya kuchini:

$$\frac{\rho v^2}{l};$$

Hajm birligidagi ishqalanish kuchi:

$$\frac{\rho g v}{l^2}; \text{ deb belgilasak}$$

U holda inertsiya kuchinig ishqalanish kuchiga nisbati:

$$\frac{\rho v^2}{l} : \frac{\rho g v}{l^2} = \frac{g l}{v}; \left[\frac{M/c \cdot M}{M^2/c} \right];$$

O'lchovsiz kattalik Reynol'ds mezonini ifodalaydi:

$$Re = \frac{g l}{v};$$

g - oqim tezligi; ρ - suyuqlik zichligi; l - oqimning chiziqli o'lchami.

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

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

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

$$Re = \frac{gd_{ekv}}{\nu} = \frac{4gR}{\nu} \quad (4.2)$$

bu yerda: d – quvurning ichki diametri; d_{ekv} – o`zan yoki nosilindrik quvurning ekvivalent diametri: $d_{ekv} = 4R$; R – gidravlik radius.

ν -kinematik yopishqoqlik koeffitsienti bo`lib, suyuqlikning xiliga va haroratiga bog`liq ravishda o`zgaradi. Masalan suv uchun: $t = 20^{\circ}C$ da $\nu = 0,0114 \text{ cm}^2/\text{c}$:

Kinematik yopishqoqlik koeffitsienti suyuqlikning xiliga va haroratiga bog`liq ravishda o`zgaradi.

Kinematik yopishqoqlik koeffitsienti (suv uchun)

$t, ^{\circ}C$	$\nu, \frac{\text{sm}^2}{\text{s}}$	$t, ^{\circ}C$	$\nu, \frac{\text{sm}^2}{\text{s}}$
0	0,0179	18	0,0106
2	0,0167	20	0,0101
4	0,0157	25	0,0090
6	0,0147	30	0,0080
8	0,0139	35	0,0072
10	0,0131	40	0,0065
14	0,0118	50	0,0055
16	0,0112	60	0,0048

Suyuqliklarda ichki qarshiliklar ham harakat tartibiga qarab har xil hisoblanadi. Tajribalarning ko`rsatishicha, laminar harakat vaqtida bosimning pasayishi o`rtacha tezlikning birinchi darajasiga

$$H_{1-2} = k_L g,$$

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

$$H_{1-2} = k_T g^n$$

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.

Xulosalar:

1. Ixtiyoriy shakldagi quvurlarda suyuqlik oqimining harakatini o'rganishda, quvur diametri o'rniga gidravlik radius yordamida Reynol'ds sonini (mezoni) aniqlash mumkin:

$$Re_d = \frac{\rho d}{\nu} = \frac{\rho(4R)}{\nu} = \underline{\underline{4Re}}$$

2. Hidrotexnika amaliyotida, asosan, oqimning turbulent harakati kuzatiladi. Faqat yer osti suvlari harakati bundan mustasno. Yopishqoq suyuqliklar harakati esa, asosan, laminar tartibda kuzatiladi.

3. SHuni ta'kidlash joizki, gidrodinamikaning asosiy tenglamalari (uzluksizlik tenglamasi, D.Bernulli tenglamasi) har ikkala harakatlar uchun o'rinalidir. Faqat D.Bernulli tenglamasidagi solishtirma energiya (napor) yo'qolishi har xil ifodalar yordamida aniqlanadi.

4. Tajribalar asosida Reynol'ds sonining kritik qiymati quyidagicha aniqlangan.

a) aylana silindrik shakldagi quvurlarda naporli harakatlanayotgan suyuqlik oqimi uchun:

$$Re_{kp} \approx 2320 \quad \text{yoki} \quad \underline{\underline{Re_{kp} \approx 500 \div 564}}$$

b) to'g'ri burchakli ochiq kanallarda harakatlanayotgan suyuqliklar uchun Xopf tajribasiga asosan, bu kattalik $\underline{\underline{Re_{kp} \approx 300}}$ ga teng.

4.2 Hidrodinamik o'xshashlik asoslari. Hidrodinamik hodisalarni modellashtirish

Texnikada gidravlik qurilmalarini yaratish yoki tabiatdagi biror voqeani tekshirish uchun laboratoriya sharoitida uning kuchaytirilgan modellarida tajribalar o'tkaziladi va bu tajribalar natijasiga qarab asosiy qurilma yoki hodisa haqida xulosa chiqariladi. Modellarini yasash va ularda olingan natijalarni rostakam nusxaga o'tkazish uchun model bilan rostakam hodisani bir-biri bilan bog'lovchi qonuniyatlarni bilish zarur bo'ladi. Rostakam nusxa bilan model o'rtasidagi bu qonuniyatlar o'xshashlik qonuniyatlari deb ataladi va ularni o'xshashlik va modellashtirish nazariyasi tekshiradi.

Ikki fizik jarayon o'xshash bo'lishi uchun uning barcha parametrlari ma'lum bir munosabatda bo'lishi kerak va bu munosabatlar turli parametrlar uchun turlicha bo'ladi.

Ikki xil voqeani bir-biriga o`xshash bo`lishi uchun birinchidan uning geometrik parametrlari o`xshash bo`lishi, ikkinchidan kinematik va dinamik parametrlari o`xshash bo`lishi kerak.

Misol uchun suvning tabiatda va texnikada kuzatilayotgan harakatda kavitatsiya hodisasi mavjud bo`lsa, uning modelida geometrik va kinematik o`xshashlik bo`lishidan tashqari xuddi shunday kavitatsiya hodisasi mavjud bo`lishi kerak. Hodisalarning o`xshashligi fizik o`xshashlik, vaqt o`xshashligi chegaraviy shartlarni o`xshashligini ham o`z ichiga olish kerak. Bular ikki o`xshash hodisalar uchun bir ismli miqdorlarning nisbatlari bir xil qiymatga ega bo`lishini taqozo qiladi. Masalan, bir hodisa uchun uzunlik o`lchamlari $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ bo`lsin, birinchiga o`xshash ikkinchi hodisaning uzunlik o`lchamlari esa $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ bo`lsin. U holda agar

$$\frac{L_1}{l_1} = \frac{L_2}{l_2} = \frac{L_3}{l_3} = \frac{L_n}{l_n} = const \quad (4.3.)$$

bo`lsa bu hodisalar geometrik o`xshash bo`ladi. Xususan, l_1, l_2, \dots, l_n quvurning uzunligi, diametiri, tezlik yoki boshqa parametrni o`lchanayotgan nuqtaning koordinatalari va hokazo bo`lishi mumkin. Yuqorida aytilgan hodisalar uchun tezlik o`lchamlari $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \dots, \vartheta_n$ va $\vartheta'_1, \vartheta'_2, \vartheta'_3, \dots, \vartheta'_n$ bo`lsin.

Agar

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta'_1} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta'_2} = \frac{\vartheta_3}{\vartheta'_3} = \frac{\vartheta_n}{\vartheta'_n} = const \quad (4.4.)$$

bo`lsa, bu hodisalar kinematik o`xshash bo`ladi. Xususan $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n$ o`lchash olib borilayotgan nuqtalardagi tezliklardir.

Mazkur ikki hodisa uchun:

$$\frac{t_1}{t'_1} = \frac{t_2}{t'_2} = \frac{t_3}{t'_3} = \dots = \frac{t_n}{t'_n} = const \quad (4.5.)$$

bo`lsa, ularda vaqt o`xshashligi mavjud.

Yuqorida keltirilgan (4,3), (4,4) va (4,5) nisbatlarning tenligini ifodalovchi o`zgarmas miqdorlar *o`xshashlik doimiysi* deb ataladi va uzunlik uchun α_l tezlik uchun α_v vaqt uchun at belgilar bilan belgilanadi. Shuningdek tezlanish uchun α_a zichlik uchun α_ρ qovushqoqlik uchun α_μ va hokazo o`xshashlik doimiylarini kiritish mumkin. O`xshashlik nazariyasida yuqorida keltirilgan o`xshashlik doimiylari ikki o`xshash hodisa uchungina bo`lmay, bir qancha o`xshash hodisalar uchun bo`lsa, u holda ular *o`xshashlik aniqlovchisi* deyiladi. O`xshashlik aniqlovchilarning o`xshashlik doimiysidan yana bir farqi ular bir qancha turli o`lchamlar kombinatsiyasining nisbati sifatida qurilishi mumkin.

Masalan,

$$\frac{\vartheta_1 l_1 v_1}{\vartheta'_1 l'_1 v'_1} = \frac{\vartheta_2 l_2 v_2}{\vartheta'_2 l'_2 v'_2} = \dots = \frac{\vartheta_n l_n v_n}{\vartheta'_n l'_n v'_n} = const$$

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

$$F_1 = m_1 \frac{d\mathcal{G}_1}{dt_1} \quad (4.6.)$$

Ikkinchi hodisa uchun esa

$$F_2 = m_2 \frac{d\mathcal{G}_2}{dt_2} \quad (4.7)$$

Ikkinchi hodisa uchun o`xshashlik doimiylari a_f , a_m , a_v , a_t larni kiritsak, (4.7) birinchi hodisa parametrlari orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\alpha_f F_1 = \alpha m_1 \frac{\alpha d}{\alpha t} m_1 \frac{d\mathcal{G}_1}{dt_1}$$

yoki

$$\frac{\alpha_f \alpha_t}{\alpha_m \alpha_v} F_1 = m_1 \frac{d\mathcal{G}_1}{dt_1} \quad (4.8)$$

(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.

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

bundan

$$\frac{\frac{F_1 t_1}{m_1 \mathcal{G}_1}}{\frac{F_2 t_2}{m_2 \mathcal{G}_2}} = 1 \quad \text{yoki} \quad \frac{F_1 t_1}{m_1 \mathcal{G}_1} = \frac{F_2 t_2}{m_2 \mathcal{G}_2}$$

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

$$Ne = \frac{Ft}{m\mathcal{G}} = const$$

bunga *Nyuton mezon*i deyiladi.

Gidrodinamik o`xshashlikni quyidagi kriterial miqdorlar aniqlaydi .

*Struxal mezon*i yoki *gomoxronlik mezon*i

$$Sh = \frac{l}{\mathcal{G}t} \quad (4.9.)$$

*Reynolds mezon*i

$$Re = \frac{\mathcal{G}l}{\nu} \quad (4.10)$$

*Eyler mezon*i

$$Eu = \frac{p}{\rho \mathcal{G}^2} \quad (4.11)$$

*Frud mezon*i

$$Fr = \frac{\mathcal{G}^2}{gl} \quad (4.12.)$$

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:

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) + g \cos \alpha_x, \quad (4.13)$$

bu yerda: $g \cos \alpha$ og'irlik kuchining O_x o'qidagi proyeksiyasi. Bu tenglamaga (4.7) va (4.8) lardagi kabi o'xshashlik doimiysini kiritsak, u quyidagi ko'rinishga keladi

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

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

$$\frac{\alpha_e}{\alpha_v \alpha_e} \frac{\partial u_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + U_z \frac{\partial u_x}{\partial z} = -\frac{\alpha_p}{\alpha_\rho \alpha_v^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\alpha_v}{\alpha \nu \alpha_l} \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) + \frac{\alpha_g \alpha_l}{\alpha_v^2} g \cos \alpha_x, \quad (4.14)$$

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

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

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

$$\frac{l_1}{\mathcal{G}_1 t_1} = 1, \text{ ya'ni } \frac{l_1}{\mathcal{G}_2 t_1} = \frac{l_2}{\mathcal{G}_2 t_2}$$

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

$$Sh = \frac{1}{\mathcal{G}t} = const$$

Ikki kombinatsiyadan

$$\frac{p_1}{\rho_1 \mathcal{G}_1^2} = 1; \frac{p_1}{\rho_1 \mathcal{G}_1^2} = \frac{p_2}{\rho_2 \mathcal{G}_2^2}$$

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

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

Uchinchi kombinatsiyadan

$$\frac{v_1}{\mathcal{G}_1 l_1} = 1; \frac{\mathcal{G}_1 l_1}{v_1} = \frac{\mathcal{G}_2 l_2}{v_2}$$

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

$$Re = \frac{\mathcal{G}l}{\nu} = const$$

To'rtinchi kombinatsiyadan

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

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`rniga

$$\varphi_2(Eu, Re, Fr) = 0 \quad (4.16)$$

munosabatdan foydalanamiz.

(4.15) va (4.16) munosabatlari kriterial tenglamalar deb ataladi va Nave - Stoks tenglamasini yechib bo`lmaydigan hollarda ulardan foydalaniladi. Bu munosabatlarning Nave-Stoks tenglamasidan farqi shundaki, ular kriterial miqdorlar o`rtasidagi bog`lanishni noaniq ko`rinishda ifodalaydi. Nave-Stoks tenglamasi esa harakat parametrlari orasidagi bog`lanishni aniqlangan ko`rinishda beradi, lekin ko`p hollarda bu tenglamani yechish qiyin, ba'zan esa yechish mumkin emas.

Kriterial tenglamalardan foydalanish uchun tekshirilayotgan voqeaning modelini laboratoriya sharoitida yaratib, unda tajriba o`tkazamiz. Tajribadan olingan natijalarni esa (4.15) yoki (4.16) tenglamani aniqlangan ko`rinishga keltirish uchun foydalanamiz. Ko`p hollarda (4.16) tenglamani ham soddalashtirib, og`irlik kuchi harakatga kam ta'sir etadigan hollarga

$$\varphi_3(Eu, Re) = 0 \quad (4.17)$$

ko`rinishida qo`llaymiz. Oxirgi tenglama yuqori bosim ostida bo`ladigan hodisalar uchun yaqin keladi.

4. bo'yicha nazorat savollari

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

5-bo'lim. SUYUQLIKLARNING LAMINAR HARAKATI

Qovushqoq 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.



Isaak Nyuton

Isaak Nyuton - (1642-1727) Ingliz fizigi va matematigi, klassik mexanikaning asoschisi, tarixdagi eng mashhur olimlardan biri. London Qirollik jamiyati a'zosi (1672-yildan) va uning prezidenti (1703-yildan). Kembrij universitetini tugatgan (1665). Ilmiy ishlari uchun unga lord unvoni berilgan (1705). Mexanika va astronomiyaning nazariy asoslarini yaratdi, butun olam tortishish qonunini ochdi, differensial va integral hisob asoslarini ishlab chiqdi, ko'zguli teleskopini kashf qildi.

5.1 Tezlikning silindirik quvur kesimi bo'yicha taqsimlanishi

Suyuqlikning devorga yopishgan qavatidan keyingi qavati esa suyuqlik zarrachalari bilan qoplangan quvur devori ustida sirpanib boradi. Agar quvur ichidagi suyuqlikni xayolan cheksiz ko'p yupqa qavatlarga ajratsak, u holda har bir qavat o'zidan oldingi qavat sirtida siljib boradi. Yuqorida aytilganga ko'ra quvur devori sirtidagi qavatning tezligi nolga teng bo'lib, quvur o'qiga yaqinlashgan sari tezlik oshib boradi. O'qda esa tezlik maksimal qiymatga ega bo'ladi. Shuning uchun quvur ichidagi ishqalanish kuchi Nyuton qonuni bilan ifodalanadi:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr}$$

Quvur ichida uzunligi l va radiusi r bo'lgan elementar naycha ajratib olamiz (5.1-rasm). Bu naychanning yuzalari $d\omega$ bo'lgan 1-1 kesimi bo'yicha p_1 bosim, 2-2 bo'lgan kesim bo'yicha esa p_2 bosim ta'sir qilsin. Radiusi R bo'lgan tekshirilayotgan quvurdagi harakat gorizont va tekis bo'lsin. U holda elementar naychaga ta'sir qilayotgan kuchlar

1-1 kesimdagi bosim kuchi

$$P_1 = p_1 d\omega$$

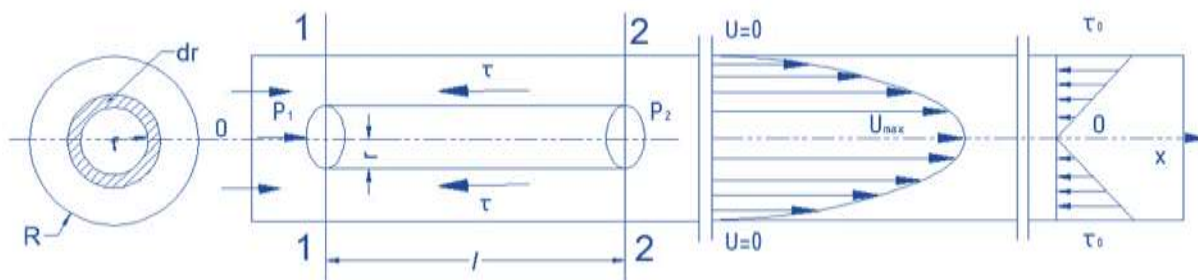
2-2 kesimdagi bosim kuchi

$$P_2 = p_2 d\omega$$

ishqalanish kuchi

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

dan iborat.



5.1 - rasm. Laminar harakatda tezlikning quvur kesmi bo'yicha taqsimlanishi

U holda elementar naychani 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 tenglamadan ushbu differentsial 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 0 dan Q gacha o'ng tomonini esa 0 dan R gacha integrallab

$$Q = -\int_0^R 2\pi r \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (r^2 - R^2) dr = -\pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \int_0^R (r^2 - R^2) r dr = \pi \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \left(\frac{R^4}{2} - \frac{R^4}{4} \right) = \frac{\pi R^4}{8\mu} \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (5.5.)$$

munosabatni olamiz.

Bu holda o'rtacha tezlikni shunday topamiz:

$$g = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\mu l \pi R^2} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} R^2 \quad (5.6.)$$

(5.6) va (5.4) munosabatlarni solishtirib quvurda laminar harakat vaqtida o`rtacha tezlik bilan maksimal tezlik orasidagi munosabatni topamiz:

$$g = \frac{u_{\max}}{2} \quad (5.7.)$$

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

5.2 Quvur uzunligi bo`yicha bosimning pasayishi (Puazeyl formulasi)

Endi quvurda oqayotgan suyuqlik energiyasining ishqalanishni yengishga sarflanishini tekshiramiz. Avval quvur kesimi bo`yicha ishqalanish kuchining taqsimlanishini ko`ramiz. Buning uchun Nyuton qonuni formulasiga tezlik formulasi (5.3) ni qo`yamiz.

U holda,

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = \frac{p_1 - p_2}{2l} r \quad (5.8.)$$

Bu formuladan ko`rinib turibdiki, ishqalanish kuchi quvur o`qida nolga teng bo`lib, uning o`qidan devorlariga qarab chiziqli ortib boradi va devor sirtida eng katta qiymatga erishadi (5.1 - rasm) (3.56) tenglamada silindrik quvurdagi uzunlik bo`yicha gidravlik yo`qotishni ishqalanish kuchi orqali berilgan edi. Endi bu formulaga (5.8) munosabatni qo`ysak.

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

Kesimlardagi bosim farqi ($p_1 - p_2$) ni (5.6) formuladan o`rtacha tezlik orqali ifodalasak:

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

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

$$H_l = \frac{8\mu l}{\gamma D^2} g \quad (5.9.)$$

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

$$\frac{H_l}{l} = \frac{32\nu}{gD^2} g \quad (5.10)$$

va oxirgi tenglikni quyidagicha yozamiz:

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

Silindrik quvurlar uchun Reynolds soni

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

ko`rinishda yozilgani uchun

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

Demak, laminar harakat vaqtida gidravlik qiyalik va bosimning pasayishi Reynolds soniga bog`liq ekan.



*Jan Leonard Marie
Puazeyl*

Jan Leonard Marie Puazeyl (1797— 1869) — fransuz fizigi. U 1815-1816 yillarda Parijdagi Politehnika institutida fizika va matematika bo'yicha tahsil oldi. 1828 yilda fan nomzodi ilmiy darajasiga ega bo'ldi. 1840 va 1846 yillarda laminar oqimga, ya'ni suyuqliklarning turbulent bo'lmagan oqimiga taalluqli Puazeyl qonunini yaratdi.

Bu yerda: $\frac{64}{Re}$ ko`rinishdagi miqdorni gidravlikada λ bilan belgilanadi:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (5.11)$$

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

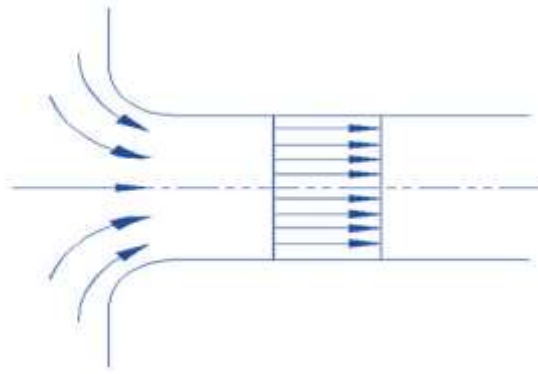
$$H_e = \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} \quad (5.12)$$
$$J = \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g}$$

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

5.3 Oqimning boshlang'ich bo`lagi.

Yuqorida aytib o`tilgan harakat qonunlari quvurdagi barqarorlashgan laminar oqimlar uchun to`g`ridir. Haqiqatda esa, quvurga endi kirgan suyuqlik boshlang'ich kesimdan boshlab ma'lum masofa o`tgandan keyingina laminar harakatga doir bo`lgan parabolik qonun bo`yicha taqsimlangan bo`ladi.

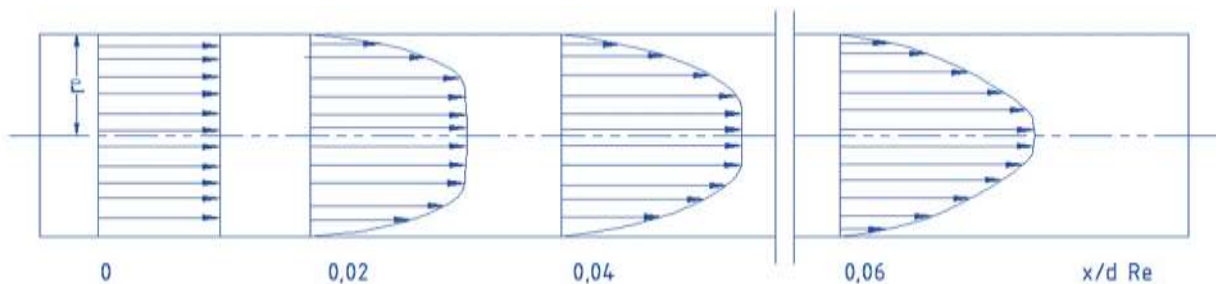
Laminar harakatning quvurda rivojlanishini quyidagicha tasavvur qilish mumkin. Hajmi juda katta idishdan suyuqlik quvurga kirsin va quvur kirish qismining chekkalari yaxshilab dumaloqlangan bo`lsin. Bu holda boshlang'ish kesimda tezlik deyarli o`zgarmas bo`ladi. Bu qonun faqat *chegara* (yoki devoroldi) qatlam deb ataluvchi devor ustidagi yupqa qavatdagina buziladi. Bu qavatda suyuqlikning devorga yopishishi natijasida tezlik keskin kamayib, devorda nolga tenglashadi. Shuning uchun kirish qismida tezlik chizig`i to`g`ri chiziq kesmasi (5.2 - rasm) bilan aniq ifodalanadi.



5.2 - rasm. Naycha kirishidagi tezlik taqsimotiga doir.

Kirish qismidan uzoqlashgan sari devorlardagi ishqalanish kuchi ta'sirida chegara qatlamga yaqin qavatlarda harakat sekinlashib boradi va natijada bu qatlamning qalinligi oshib boradi harakat esa sekinlashib boradi. Oqimning ishqalanish kuchi hali ta'sir qilmagan markaziy qismi esa bir 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'rta qismida (yadroda) tezlik oshib boradi, devor yaqinida o'sib boruvchi chegara qatlamda kamayadi. Bu jarayon chegara qatlam oqim kesimini butunlay egallab olmaguncha va yadro butunlay yo'q bo'lib ketguncha davom etadi (5.3 - rasm).



5.3 - rasm. Laminar harakatning quvurda rivojlanib borishiga doir chizma

Shundan keyin oqimning rivojlanishi tugab, tezlik chizig'i odatdagi laminar oqimga xos parabolik shaklni qabul qiladi. Quvurning boshlang'ich kesimidan doimiy parabolik tezlik vujudga kelguncha bo'lgan bo'lagi laminar harakatning boshlang'ich bo'lagi deb ataladi. Bu bo'lakning uzunligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$L_{\text{bosh}} = 0,028R_e D \quad (5.13)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, boshlang'ich bo'lak Reynolds soniga va quvurning diametriga proporsional ekan. Gidrotexnika kursida bu masalani nazariy usul bilan hal qilingan bo'lib, olingan formulalar tajribada qiymatlarga juda yaqin keladi.

5.4 Tekis va halqasimon tirqishlarda suyuqlikning laminar harakati.

Yuqorida biz laminar harakatning eng sodda turlaridan biri silindrik quvurdagi tekis harakatni ko'rgan edik. Texnikada esa murakkab harakatlar ko'p

ushraydi. Bularga tekis va halqasimon tirqishlardagi harakatlarni misol qilib keltirish mumkin. Bunday harakatlar gidravlik mashinalar va agregatlarni germetiklash, ularning harakatlanuvchi elementlarini mustahkam berkitish ishlari orada tirqish qoldirib bajariladi. Porshenli nasoslar va gidrouzmatlarda plunjer bilan silindr orasidagi tirqish ham yuqoridagi aytilgan harakatlarga misol bo`la oladi.

Uzunligi l , eni b , balandligi c bo`lgan tekis tirqishdagi laminar, bir tekis harakatni ko`ramiz (5.4 - rasm).

Ko`rilayotgan tirqishda uzunligi l , eni b va balandligi y bo`lgan parallelepiped ajratamiz. Bu parallelepipedga $1-1$ 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`nalgan bo`ladi. Ko`rilayotgan hajmdagi suyuqlikning muvozanatda bo`lishi sharti bo`yicha yuqorida keltirilgan kuchlardan quyidagi tenglama hosil qilinadi.

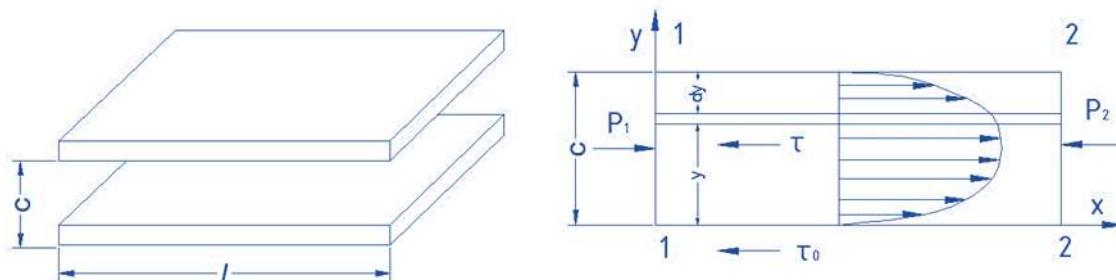
$$P_1 - P_2 - T_1 - T_2 = 0 \quad (5.14)$$

Bu tenglama quyidagi ko`rinishga keladi.

$$\frac{du}{dy} = -\frac{p_1 - p_2}{\mu l} y + \frac{\tau_0}{\mu} \quad (5.15)$$

Suyuqlikning qovushqoqlik shartiga asosan tirqishning pastki devorida ($y=0$) tezlik nolga teng. (5.15) tenglamaning chap tomonini 0 dan u gacha, o`ng tomoni 0 dan y gacha integrallab, quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} y^2 + \frac{\tau_0}{\mu} y \quad (5.16)$$



5.4 - rasm. Tekis tirqishda suyuqlikning laminar harakatiga doir chizma.

Ikkinchi devorda ($y=c$) ham tezlik nolga teng. Bu shartdan foydalanib ushbu tenglikni yozamiz.

$$O = \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} c^2 + \frac{\tau_0}{\mu} c.$$

Oxirgi tenglikdan τ_0 ni topamiz.

$$\tau_0 = \frac{p_1 - p_2}{2l} c$$

va (5.16) ga qo'yamiz. Natijada tezlik uchun quyidagi formulani olamiz.

$$u = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} y(y - c) \quad (5.17)$$

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

$$u_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} c^2 \quad (5.18)$$

Suyuqlik sarfini topish uchun qalinligi dy ga teng bo'lgan elementar qavat olib, uning ko'ndalang kesimidan oqayotgan suyuqlikning sarfini topamiz.

$$dQ = bdyu$$

U holda suyuqlik sarfi quyidagicha aniqlanadi.

$$Q = \int_s dQ = b \int_0^c u dy = b \int_0^c \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} (c - y)y dy = b \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \int_0^c (c - y)y dy = \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} b \left(\frac{c^3}{2} - \frac{c^3}{3} \right) = \frac{p_1 - p_2}{12\mu l} c^3 b \quad (5.19)$$

Bu formula yordamida tirqishdan oqib ketayotgan suyuqlik miqdorini aniqlash mumkin.

O'rtacha tezlikni topish uchun sarfini oqimning kesimiga bo'lamiz, ya'ni

$$g = \frac{Q}{\omega} = \frac{p_1 - p_2}{12\mu l} \frac{c^3 b}{cb} = \frac{p_1 - p_2}{12\mu} c^2 \quad (5.20)$$

(5.18) va (5.20) tenglamalarni o'zaro taqqoslab, o'rtacha tezlik bilan maksimal tezlik o'rtasidagi bog'lanishni topamiz: $g = \frac{2}{3} u_{\max}$. Bundan ko'rinadiki,

ko'rilayotgan holda maksimal tezlik o'rtacha tezlikdan bir yarim marta katta ekan. Tekis tirqishdan oqayotgan suyuqlik uchun gidravlik yo'qotishni topamiz.

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

(5.20) dan $(p_1 - p_2)$ ni o'rtacha tezlik orqali quyidagicha ifodalab

$$p_1 - p_2 = \frac{12\mu l}{c^2} g.$$

uni gidravlik yo'qotish formulasiga qo'ysak, ushbu munosabat hosil bo'ladi.

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

Tirqishning gidravlik radiusi

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

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

$$H_e = \frac{12\mu l}{g c^2} g = \frac{24l}{g R} \frac{g^2}{2g} = \frac{96}{\text{Re}} \frac{l}{\text{Re}} \frac{g^2}{2g} \quad (5.21)$$

Agar silindrik quvurdagi laminar harakat tekshirilgandagi kabi

$$\lambda = \frac{96}{\text{Re}} \quad (5.22)$$

belgilashni kiritsak, ushbu munosabatni olamiz.

$$H_e = \lambda \frac{l}{4R} \frac{g^2}{2g} \quad (5.23)$$

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 tirqishlardagi laminar harakat uchun ham qo'llanilishi mumkin.

Masalan, plunjerning diametri d_1 tirqishning qalinligidan juda katta bo'lsa ($d_1 \gg c$), plunjer bilan silindr orasidagi halqasimon tirqish uchun qo'llaniladi. Bu holda suyuqlik sarfini hisoblash uchun (5.19) dagi b o'rniga d ni qo'yish kerak. Ekstsentrik halqasimon tirqishlar 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 – plunjer va silindr o'qlari orasidagi ekstsentrisitet. Agar tirqishning qalinligi plunjer diametriga yaqin miqdorlarda o'lchanadigan bo'lsa, u holda halqasimon tirqishdagi harakat uchun boshqacha formulalar chiqarish kerak bo'ladi.

Diametrlari d_1 va d_2 , uzunliklari l bo'lgan plunjer va silindr orasidagi tirqishda (5.5 - rasm) laminar harakat qilayotgan suyuqlik oqimini tekshiramiz. Radiusi r_1 va r bo'lgan ikki silindr orasidagi suyuqlik muvozanatini ko'ramiz.

1-1 kesim yuzasi bo'yicha Ox o'qi yo'nalishida

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

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

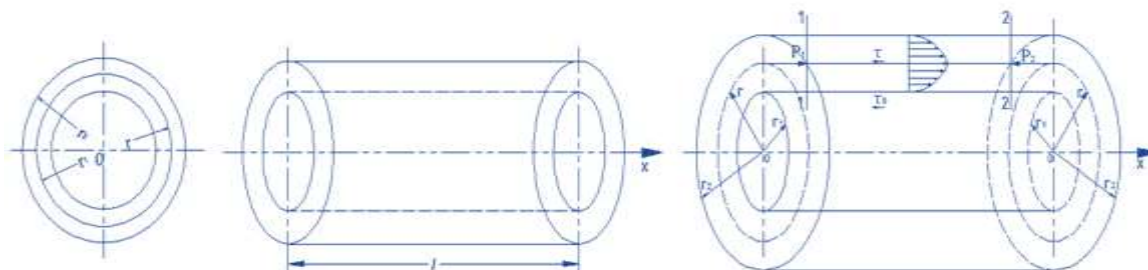
$$T_1 = \tau_0 2\pi r_1 l$$

Tashqi silindr sirti bo'yicha esa

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

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

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



5.5 - rasm. Halqasimon tirqishda suyuqlikning laminar harakatiga doir chizma

Suyuqlikning tezligi $r = r_1$ da nolga teng bo`ladi. Shuning uchun (5.25) tenglamaning chap tomonini O dan u gacha, o`ng tomonini r_1 dan r gacha integrallab, ushbu munosabatni olamiz.

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

Silindrning sirtida ($r = r_2$) ham tezlik nolga teng.

Shuning uchun

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

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:

$$Q = 2\pi \int_{r_1}^{r_2} u r dr = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} \pi (r_2^2 - r_1^2) \left[r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right]. \quad (5.28)$$

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

$$g = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} (r_2^2 + r_1^2) - \left(\frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right). \quad (5.29)$$

Gidravlik yo`qotish esa quyidagicha hisoblanadi.

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

Gidravlik radius

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

Demak, Reynolds soni

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

Buni nazarda tutsak,

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

Avvalgi hollarda belgilashni kiritamiz.

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

U holda

$$H_e = \lambda \frac{l}{2(r_2 - r_1)} \frac{g^2}{2g} \quad (5.30)$$

Gidravlik nishablik uchun esa

$$J = \frac{H_e}{l} = \lambda \frac{1}{2(r_2 - r_1)} \frac{g^2}{2g}. \quad (5.31)$$

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

5.5 Laminar oqimning maxsus turlari (o`zgaruvchan qovushqoqlik, obliteratsiya)

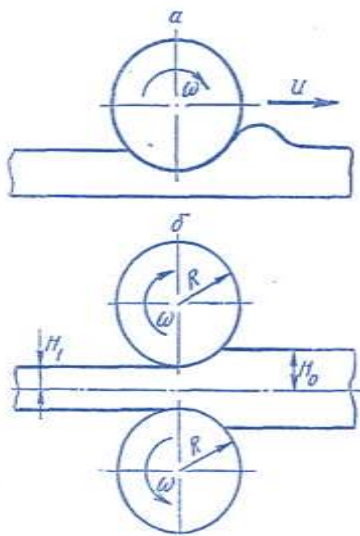
Mashinalar gidravlikasini yaratish rus olimlari A.A.Sablukov, V.A.Pusheshnikov, V.G.Shuxov va boshqalarning nomlari bilan bog`langan.

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 bergan edi. Petrov bu ishlarda sharchalarning podshipniklar o`rtasidagi harakatini bir o`qli silindrlar orasidagi laminar harakat masalasi sifatida ko`rish mumkin ekanligini ko`rsatdi. N.P.Petrov o`tkazgan juda ko`p tajribalar uning nazariyasini tasdiqlabgina qolmay, o`sha davrida mineral moylar harakatiga doir ko`pgina masalalarning hal etilishiga yordam beradi.

N.P.Petrov o`z nazariyasini yaratishda va tajribalarida podshipnik halqalari tez aylangani sari suyuqlik ularga oz-ozdan ta'sir qilib borishini ko`rsatdi. Bu ta'sir natijasida podshipnik ichki va tashqi halqalarning o`qi podshipnik o`qidan og`adi, lekin bu og`ish juda ham kam. Bu aytilganlarga asosan u moylovchi qavat uchun

harakat tenglamasining soddalashtirilgan ko`rinishini keltirib chiqardi. Podshipnik halqalarining sezilarsiz darajada ekstsentrik joylashuvi qo`shimcha kuchlarni vujudga keltiradi va u valdagi kuchlanishlarni muvozanatlaydi. N.P.Petrov bu masalani ikki egri sirt orasidagi suyuqlik harakati sifatida ko`radi. Bu nazariyani davom ettirib N.E.Jukovskiy va S.A.Shapliginlar ship va podshipnikning ekstsentrik joylashgan holati nazariyasini yaratdilar.

Yuqorida keltirilgan ikki tekis sirtlar orasidagi tirqishda suyuqliklar harakatini N.P.Petrov yechgan masalaning juda soddalashtirilgan ko`rinishi deb qarash mumkin, lekin bu soddalashtirish shunchalik kuchliki, olingan natijalar podshnipnikdagi moyning harakatini ifodalab bera olmaydi.



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

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.

Avvalgi paragrafda keltirilgan tekis va silindrik sirtlar orasidagi tirqishda harakat qilayotgan suyuqlik harakati masalalari plunjerning silindr ichidagi harakatiga yana ham yaqinroq bo`lish uchun bu sirtlarning birini biror V tezlik bilan harakatlanayotgan deb qarash kerak bo`ladi. Bu masalalarning yuqorida keltirilgan yechimlarida yana bir narsa hisobga olinmagan. Pulunjer silindr ichida harakat qilgan vaqtida ishqalanish kuchining ta'sirida qizib ketishi mumkin. Natijada ikki silindr orasidagi tirqishda oqayotgan suyuqlik ham qiziydi. Bunday hodisa sharikli podshipniklarda ham bo`ladi. Moylovchi suyuqlik qizishi bilan uning qovushoqlik koeffitsiyenti o`zgaradi. Biz qovushoqlik koeffitsiyentining temperaturaga bog`liqligini kinematik qovushoqlik koeffitsiyentiga bag`ishlangan paragrafda ko`rgan edik va temperatura ortishi bilan qovushoqlikning kamayishi haqida to`xtalib o`tgan edik. Qovushoqlikning temperaturaga bog`liqligi haqidagi masalalar akademik L.S.Leybenzon va

akademik M.A.Mixeyevlar tomonidan yechilgan bo`lib, tirqishlarda suyuqlikning harakati qovushqoqlik koeffitsiyentining o`zgaruvchanligiga bog`liqligi hisobga olib ko`rilgan.

Qovushqoqlikning temperaturaga bog`liqligi suyuqlik tashqi muhit bilan issiqlik almashganda ishqalanish qarshiligining o`zgarishiga olib keladi. Agar tashqi muhit suyuqlikka qaraganda sovuqroq bo`lsa, uning tashqi muhitga issiqlik berishi natijasida suyuqlikning quvur devoriga yaqinroq qavatlarida qovushqoqlik ortadi. Natijada bu qavatlardagi harakatning sekinlanishi tezkor bo`ladi, bu esa tezlik gradiyentining kamayishiga olib keladi.

Tashqi muhit issiqroq bo`lsa, aksincha, suyuqlikning quvur devoriga yaqin qavatlari tashqaridan issiqlik olib, uning qovushqoqligi kamayadi. Natijada devor yonida tezlik gradiyenti ortadi. Shunday qilib, suyuqlik tashqi muhit bilan issiqlik almashgan hollarda uning qovushqoqligi quvur kesimi bo`yicha o`zgaruvchan bo`lib, tezlik taqsimoti ham o`zgarmas temperaturadagidan boshqacha bo`ladi. Xususan, qizdirishli oqim vaqtida yadroagi tezlik ortib, tezlik taqsimoti chizig`i cho`ziqroq bo`ladi, aksincha, sovutishli oqimlar hoida esa bu chiziq qisqaradi.

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

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

bu yerda: Re – o`rtacha qovushqoqlik uchun hisoblangan Reynolds soni ν_g - quvur devori yonidagi suyuqlikning qovushqoqligi, ν_s – suyuqlikning o`rtacha qovushqoqligi. Aniqroq hisoblashlar uchun akad. M.A.Mixeyevning kichik Reynolds sonlari bilan hisoblashga chiqargan formulasidan foydalanish mumkin.

Ikki sirt orasidagi tor tirqishda suyuqlik harakat qilayotgan vaqtda qattiq jism va suyuqlik chegarasida molekulalararo o`zaro ta'sir kuchi natijasida, qutblangan suyuqlik molekulalarning adsorbtsiyalanish hodisasi vujudga keladi. Natijada devorlar sirtida, siljitivchi kuchga qarshi ma'lum qattqlik va mustahkamlik xususiyatiga ega bo`lgan, harakatsiz suyuqlik qavati hosil bo`ladi. Bu esa tirqish harakat kesimining kichrayishiga sabab bo`ladi. Tirqishning bunday kichrayish hodisasi obliteratsiya deyiladi.

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

Obliteratsiya intensivligi suyuqlikning turiga, tirqishdagi bosimning kamayib borishiga va boshqa sabablarga bog`liq. Bosim kamayishi ortsa, bu hodisa kuchayadi. Molekular tarkibi murakkab bo`lgan moylarda obliteratsiya hodisasi kuchliroq bo`ladi. Bunday moylarga gidrouzatmalarda ishlatiladigan neft moylari kiradi. Obliteratsiya qavati juda yupqa (odatda, bir necha mikrondan oshmaydi) bo`lishiga qaramay, juda tor (kapillyar) tirqishlarida uning ko`ndalang kesimining anchagina qismini egallab oladi. Natijada tirqishning qarshiligi ortadi va tirqishdagi suyuqlikning sarfi kamayadi.

Bu hodisa suyuqlikning ifloslanganligiga ham bog`liq bo`lib, uni ifloslovchi modda zarrachalari tirqish o`lchamlariga yaqin bo`lsa, obliteratsiya tezroq bo`ladi. Lekin suyuqlikning ifloslanganligi obliteratsiya hodisasida asosiy faktor bo`la olmaydi. Masalan, juda yaxshi tozalangan distillangan suv va benzinda obliteratsiya bo`lmaydi, ammo juda yaxshi tozalangan AMG-10 moyi 10 mikronli tirqishdan qisqa vaqt oqishi bilan tirqish butunlay bekilib qoladi.

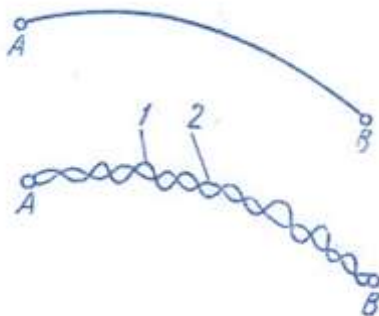
Odatda, juda kichik tirqishlarda (o`lchami 6-8 mk) obliteratsiya hodisasi tirqishni butunlay berkitib qo`yishi mumkin.

5. 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.

6-bo'lim. SUYUQLIKLARNING TURBULENT HARAKATI

Suyuqliklarning turbulent harakati tabiatda va texnikada keng tarqalgan bo'lib, gidravlik hodisalar ichida eng murakkablari qatoriga kiradi. Bu harakat juda ko'p tekshirilgan bo'lishiga qaramay hozirgacha harakatning turbulent turi uchun umumlashgan nazariya yaratilgan emas. Shuning uchun ham turbulent oqimlarini hisoblashda yarimempirik nazariyalardan foydalanish bilan bir qatorda, ko'p hollarda tajriba natijalari va empirik formulalardan foydalanishga to'g'ri keladi.



6.1 - rasm. Turbulent harakatining xususiyati.

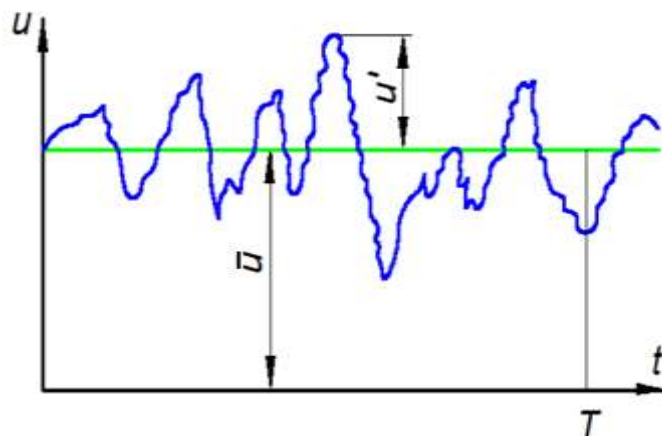
6.1 Suyuqlik trubulent harakatining xususiyatlari

Turbulent harakatda suyuqlikning har bir zarrachasi juda ham murakkab egri chiziqli trayektoriya bo'yicha harakat qiladi va har qanday ikki zarrachaning 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 murakkab egri-bugri chiziq bo'yicha *B* nuqtaga keladi. Ikkinchi 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 umumiylikni aniqlash mumkin. Hatto bu umumiylikni faqatgina sifat o'xshashligi ko'rinishda emas, balki miqdor o'xshashligi ko'rinishida ham ifodalash mumkin. Ana shu o'xshashliklar asosida turbulent harakatning qonuniyatlarini yuzaga keltirib chiqariladi.

6.2 Tezlik va bosim pulsatsiyalari

Turbulent harakat qilayotgan suyuqlik biror nuqtadagi tezligining koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarini tekshiramiz. Misol uchun tezlikning oqim yo'nalishidagi proyeksiyasi u_x bo'lsin. U holda u_x ning miqdori vaqt davomida ortib va kamayib boradi. Bu o'zgarishni grafik ko'rinishda ifodalasak, u 6.2-rasmda tasvirlangan grafikka o'xshaydi va tezlik u_x proyeksiyasining pulsatsiyasi deb ataladi. Tezlikning boshqa o'qlaridagi proyeksiyalari (u_y, u_z) uchun ham xuddi shunday pulsatsiya grafiklari tuzish mumkin. Shunday qilib, tezlik pulsatsiyasi uning biror yo'nalishdagi proyeksiyasining vaqt davomida ortib va kamayib borish hodisasidan iborat.



6.2 - rasm. Tezlik pulsatsiyasiga doir chizma.

Uni tajribada tezlikni o'lchovchi asboblarda yordamida (masalan, Pito trubkasidagi suyuqlik sathining o'zgarishini) kuzatish mumkin. Oqayotgan suvda suv o'tlari novdalarining to'xtovsiz tebranma harakat qilishi ham bizga pulsatsiya

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

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'rtachasi bo'ladi.

Tenglashtirilgan tezlik tushunchasini ko'z oldimizga keltirish uchun 1.54 - rasmdan foydalanamiz. Grafikda tezlikning o'zgarishini to'liq xarakterlash uchun yetarli bo'lgan t_1 vaqt intervalini olamiz va grafikda vaqt o'qiga parallel qilib, shunday AB chiziq o'tkazamizki, hosil bo'lagi $ABCD$ to'rtburchakning yuzi ω_{ABCD} pulsatsiya grafigining t_1 oraliqdagi bo'lagi bilan DC chizig'i orasidagi yuz $\omega_{A'B'C'D'}$ ga teng bo'lsin. U holda $ABCD$ to'rtburchakning balandligi tenglashtirilgan tezlikka teng bo'ladi va \bar{u}_x bilan belgilanadi.

Yuqorida aytib o'tilganlar turbulent harakatining beqaror harakat ekanligini ko'rsatadi. Agar biz pulsatsiya grafigida t_1 interval davomida yetarli darajada uzun t_2 interval olsak va bu interval tenglashtirilgan tezlikni topsak t_2 davomida avvalgidek uchinchi interval olib, yana tenglashtirilgan tezlikni topsak va bu ishni davom ettirib borsakda, barcha intervallar uchun olingan tenglashtirilgan tezliklar teng bo'lsa, bunday harakat turbulent harakat uchun barqaror harakat bo'ladi.

Oqayotgan suyuqlikda biror elementar yuza $d\omega$ olib, shu yuzadan vaqt ichida oqib o'tgan suyuqlikning hajmi $d\mathcal{V}$ ni aniqlasak, barqaror harakat vaqtidagi tenglashtirilgan tezlik quyidagicha aniqlanadi.

$$\bar{u} = \frac{d\mathcal{V}}{\Delta t d\omega} \quad (6.1)$$

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 intervaldagi yig`indisi yoki integrali nolga teng bo`lar ekan.

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

Endi suyuqlikning oqimiga ko`ndalang yo`nalishdagi tezliklarni tekshirsak, bu tezliklar bilan oqimning bir tomoniga qancha suyuqlik harakat qilsa, ikkinchi tomoniga ham shuncha suyuqlik harakat qiladi. Natijada suyuqlikning 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 trubulent oqim uchun Reynolds modeli bo`yicha hisoblash ishlarida \bar{u} va p lardan foydalanamiz. Turbulent oqimiga Bernulli tenglamasini qo`llaganimizda tezlik va bosimlar deganda tenglashtirilgan tezlik va bosimlarni tushunamiz, yozuvda esa soddalashtirish uchun chiziqlarni tushirib qoldiramiz. L.Prandtlning va boshqa olimlarning tekshirishlari shuni ko`rsatdiki, turbulent harakat vaqtida oqimning asosiy qismi uning yadrosi, ya'ni markaziy qismini tashkil qiladi. Yadroda suyuqlik turbulent harakat qilib, uning tezliklari yadro kesimi bo`yicha deyarli bir xil bo`ladi va markazdan quvur devoriga yaqinlashgan sari bir oz kamayib boradi. Devor yonidagi suyuqlik zarrachalari esa (devorning mavjudligi oqimga ko`ndalang harakatga yo`l qo`ymagani uchun) devor bo`yicha

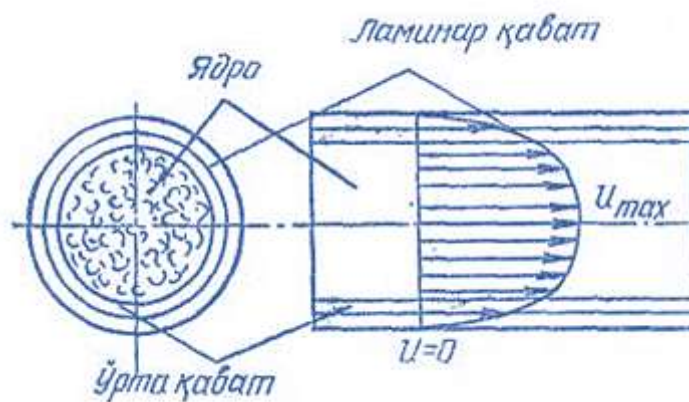
harakat qilib, uning trayektoriyasi sezilarsiz tebranishga ega bo`ladi. Shuning uchun devor yonidagi zarrachalar laminar harakat qiladi. Ana shu laminar harakat qilayotgan zarrachalar yupqa qavat ichida bo`lib, uni laminar qavat deb ataladi. Laminar qavat bilan yadro o`rtasida yana bir yupqa qavat bo`lib, uni o`rta qavat deb ataladi. Bu qavatda suyuqlik turbulent harakat qiladi.

Juda katta aniqlik va e'tibor bilan o`tkazilgan tajribalar laminar qavatning qalinligini aniqlashga imkon beradi. Uning qalinligi millimetrning bo`laklariga teng bo`lib, Reynolds soniga bog`liq va uning ortishi bilan laminar qavatning qalinligi kamayadi. Shunday qilib, turbulent harakatdagi tenglashtirilgan tezlikning taqsimlanishi (6.3 -rasm), laminar haratdagi tezlikning taqsimlanishidan tamomila farq qiladi va u yadroda deyarli o`zgarmagan holda quvur devori yaqinida juda tez kamayadi va devor ustida nolga teng bo`lib qoladi, ya'ni tenglashtirilgan tezlik asosan laminar va o`rtacha qavatlarda o`zgaradi. Buni ko`z oldimizga keltirish uchun 6.3 - rasmda silindrik quvurda turbulent oqim uchun (tutash chiziq) va laminar oqim uchun (punktir chiziq) tezlik chizig`i keltirilgan.

Hozirgi zamon gidravlikasida tezlikning kesim bo`yicha taqsimlanish qonuni nazariya va tajribalar natijasida quyidagicha ifodalanadi:

$$n = u_{\max} - \frac{u_*}{\chi} \ln \frac{R}{R-r} \quad (6.3.)$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$



6.3 - rasm. Turbulent harakatda laminar qavat va yadro.

bu yerda: τ_0 - quvur devoridagi urinma kuchlanish; χ - tajribadan aniqlangan koeffitsiyent bo`lib, u 0,4 ga teng; R - quvurning radiusi; r - quvurning o`qidan boshlab hisoblangan masofa. (6.3) tenglamadagi u^* ning o`lchov birligi tezlik o`lchov birligi bilan bir xil bo`lib, u odatda dinamik tezlik deyiladi.

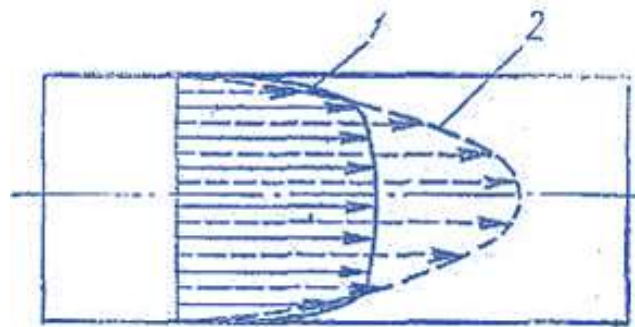
Silliq quvurlar uchun tezlik formulasi ushbu ko`rinishda yoziladi.

$$u = u_* \left(5,751g \frac{ru_*}{\nu} + 5,5 \right). \quad (6.4.)$$

G`adir-budir quvurlar uchun esa

$$u = u_* \left(5,851g \frac{r}{\Delta} + 8,5 \right). \quad (6.5)$$

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



6.4 - rasm. Turbulent va laminar harakatda tezlik epyuralari.

Amalda tezlik taqsimlanishini darajali qonunlar bilan ifodalovchi formulalari qulaydir.

Karman nazariy tekshirishlar natijasida silliq quvurlar uchun bu qonunni quyidagi ko`rinishda yozishni taklif qilgan.

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{m}} \quad (6.6)$$

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

$$L_{tur,n} = 0,639 Re^{0,25} D \quad (6.7.)$$

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 kuchlanish

Turbulent harakatning Reynolds modelida biz pulsatsiyalarni hisobga olmagan holda tenglashtirilgan oqim olamiz. Lekin tenglashtirilgan tezlik bo`yicha hisoblangan oqimning energiyasi oniy tezlik bo`yicha hisoblangan oqimning energiyasidan kam bo`ladi. Buni quyidagicha ko`rsatish mumkin. Oniy va tenglashtirilgan tezliklar kvadratini tekshiramiz.

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

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

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

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

$$\bar{u}_x^2 = \bar{u}_x^2 + \bar{u}_x^1{}^2.$$

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

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

Bu qo`shimcha energiya turbulent harakat qilayotgan suyuqlik zarralarning oqimdagi bir qavatdan ikkinchi qavatga tartibsiz o`tib turishi uchun sarflanadi. Shunday qilib, qavatlar orasida energiya almashinuvi natijasida tezlik pulsatsiyalari ma'lum miqdorda ish bajaradi. Bu bajarilgan ish suyuqlik qavatlarida orasida qo`shimcha urinma kuchlanish sifatida namoyon bo`ladi. Hosil bo`lgan qo`shimcha urinma kuchlanish turbulent urinma kuchlanish deyiladi. Bu kuchlanish 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: μ_T - turbulent dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti yoki turbulent almashuv koeffitsiyenti deb ataladi.



Ljudvig Prandtl

Ljudvig Prandtl (1875—1953) — nemis mexanik va fizigi. U gidrodinamika asoslarini yaratishga katta hissa qo`shgan va chegaraviy qatlam nazariyasini yaratgan. O`xshashlik mezonlaridan biri (Prandtl raqami) uning nomi bilan atalgan. Shuningdek, gidroaerometrik qurilma (Prandtl naychasi) yaratuvchisi hisoblanadi. 1900 yilda Myunxen texnika universitetida doktorlik dissertatsiyasini himoya qilgan. U 1904 yil Gannoverda va Gyottingenda professor bo`lgan.

L.Prandtl koeffitsiyentini tezlik gradiyentiga proporsional 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:

$$l = \chi y, \quad (6.10)$$

bu yerda: y - harakatlanayotgan zarrachaning idish devoridan boshlab hisoblangan koordinatasi; χ - Prandtl unversal doimiysi. Nikuradze tajribalarida aniqlanishicha silindrik quvur uchun $\chi \approx 0,4$. (177) dan ko`rinib turibdiki, dinamik qovushqoqlik turbulent koeffitsiyenti μ_T tezlik gradiyentiga proporsional bo`lib,

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

$$v_T = \frac{\mu_T}{\rho} = l^2 \frac{du}{dn} \quad (6.11)$$

Yuqorida keltirilganlarni hisobga olib, turbulent harakat uchun urinma kuchlanishni quyidagicha yoziladi.

$$\tau = \tau_l + \tau_T = \mu \frac{du}{dn} + \mu_T \frac{du}{dn} = \mu \frac{du}{dn} + \rho l^2 \left(\frac{du}{dn} \right)^2 \quad (6.12)$$

Laminar harakat vaqtida bu yig'indining ikkinchi hadi nolga teng bo'lib, faqat laminar qovushqoqlik urinma kuchlanishi τ_l qoladi. Reynolds sonining katta qiymatlarida turbulent harakat uchun τ_l , τ_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 τ tezlik gradiyentining ikkinchi darajasiga proporsional bo'ladi. Silindrik quvurda tekis harakat qilayotgan suyuqlikning turbulent tartibi uchun (5.1) dagidek muvozanat tenglamasidan quyidagi tenglik kelib chiqadi:

$$\pi r^2 (p_1 - p_2) = 2\pi r l \tau. \quad (6.13)$$

Reynolds sonining katta qiymatlarida $\tau_T \gg \tau_l$ ekanligini hisobga olib, (6.13) da laminar urinma kuchlanishini kichik miqdor sifatida tashlab yuboramiz. Natijada (6.12) dan foydalanib, ushbu tenglamani chiqaramiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{2l} = \frac{\tau_T}{r}. \quad (6.14)$$

Lekin turbulent urinma kuchlanish 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 kuchlanish (τ) ni o'zgarmas urinma kuchlanish τ_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'ulotlarga doir ko'rsatma:

Masala. Moy (IC-30) nasos yordamida quvur orqali gidrosilindrga uzatiladi. Agar quvur diametri $d = 24$ mm, moyning harorati $t = 20^\circ\text{C}$ bo'lib, nasosning sarfi $Q = 20$ m³/s bo'lganda suyuqlikning harakat rejimini va qaysi haroratda turbulent rejimga o'tishini aniqlang.

Yechimi: Suyuqlikning harakat rejimi Reynolds soni orqali ifodalanadi;

Damli (naporli) harakatda Reynolds soni (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

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

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

$$\nu = 150 \text{ mm}^2/\text{s} = 1,5 \text{ sm}^2/\text{s}$$

Reynolds soni:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{4,42 \cdot 2,4 \cdot 10^2}{1,5} = 700;$$

$$Re_{kr} = 2000:$$

$Re < Re_{kr}$ demak suyuqlik harakat rejimi laminar.

Laminar harakatdan turbulent harakatga o'tish uchun $Re > Re_{kr}$.

$Re_{kr} = 2000$, u holda:

$$Re_{kr} = \frac{V \cdot d}{\nu}; \nu = 0,53 \text{ sm}^2/\text{s} = 53 \text{ mm}^2/\text{s}.$$

ν va t° ning bog'liqlik jadvalidan industrial moy uchun (IS-30) $\nu = 53$ mm²/s ga mos keladigan t° harorat miqdori $t = 50^\circ\text{C}$.

Demak, suyuqlik harorati yuqoridagi miqdorga yetganda suyuqlik laminar harakat rejimidan turbulent harakat rejimiga o'ta boshlaydi.

Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Uzunligi $l=4$ m bo'lgan quvurdan harorati 10°C ($\nu = 0,4$ sm²/s) bo'lgan neft oqib o'tmoqda. Kesimlar orasidagi bosimlar farqi $\Delta P = 5$ mPa va neft sarfi $Q = 0,5$ l/s bo'lganda suyuqlikning harakat rejimini aniqlang.

2. Diametri $d = 50$ mm li quvur orqali sarfi $Q = 0,5$ l/s bo'lgan benzin oqib kelmoqda. Agar benzin harorati 6°C dan 40°C gacha o'zgarsa suyuqlik harakat rejimi qanday o'zgaradi?

3. $d = 100$ 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. Laboratoriyada diametri $d = 25$ mm bo'lgan quvurda tajribalar o'tkazib quyidagi qiymatlar o'lchandi: a) suvning harorati $t = 10^{\circ}\text{C}$, tezligi $V = 20$ sm/s; b) benzin harorati 20°C , tezligi $V = 25$ sm/s; v) neft harorati 18°C , tezligi $V = 18$ sm/s. Suyuqliklarning harakat rejimlarini va 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.

Naporning yoqolishini (Bosimning pasayishi) (h_{1-2}) ni hisoblashning muhimligi shundaki, bu ish suyuqlik quvurlarda harakatlanganida quvurdagi qarshiliklarni yengish uchun sarf bo'lgan energiyani hisoblashga va shu hisobga asosan loyihalalanayotgan quvur (yoki quvurlar sistemasida) suyuqlikni uzatish uchun qancha energiya kerak ekanligini aniqlashga imkon beradi. Quvurlarda bosimning kamayishi ishqalanish qarshiligi va mahalliy qarshilikka bog'liq.

Ishqalanish qarshiligi real suyuqliklar ichki qarshiligiga bog'liq bo'lib, quvurlarning hamma uzunligi bo'yicha ta'sir qiladi. Uning miqdoriga suyuqlik oqimining tartibi (laminarlik, turbulentlik, turbulentlik darajasi) ta'sir qiladi. Yuqorida aytilgandek, turbulent tartib vaqtida odatdagi qovushqoqlikka qo'shimcha ravishda, turbulent qovushqoqlikka bog'liq bo'lgan va suyuqlik harakati uchun qo'shimcha energiya talab qiladigan kuch paydo bo'ladi.

Mahalliy qarshilik tezlikning suyuqlik harakat qilayotgan quvurning shakli o'zgarishiga bog'liq bo'lgan har qanday o'zgarishi vaqtida paydo bo'ladi. Bularga bir quvurdan (yoki idishdan) ikkinchi quvurga o'tish joyi, quvurlarning kengayishi yoki birdan kengayib birdan torayishi, tirsaklar, oqim yo'nalishini o'zgartiruvchi qurilmalar (kran, ventil, va h.k.) kiradi. Shunday qilib yo'qolgan bosim (3.57) formula bo'yicha ikki yig'indidan tashkil topgan bo'ladi:

$$H_n = H_l + H_M \quad (6.18)$$

bu yerda: H_l - 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:

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

Bu ifodadagi $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$ ni ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti deb atagan edik.

Ko`pincha uni soddaroq qilib gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti deyiladi. Silindrik quvurlarda bu formula Reynolds soni 2320 dan kichik bo`lgan laminar harakatlar uchun tajribada olingan natijalarda juda yaqin keladi. Turbulent harakat uchun ishqalanish qarshiligi tajriba yo`li bilan aniqlanadi. Uni nazariy aniqlab bo`lmaydi.

6.6 Darsi formulasi va gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti (Darsi koeffitsiyenti)

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

$$H_l = \zeta \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \quad (6.19)$$

Bu formuladagi proporsionallik koeffitsiyenti bir qancha miqdorlarga bog`liq bo`lib, uni tekshirish uchun quyidagi xulosadan foydalanamiz. Juda ko`p tajribalar yuqorida keltirilgan $\frac{\tau_0}{\rho}$ miqdorning tezlik bosimi yoki solishtirma kinetik energiya orqali quyidagicha ifodalanishini ko`rsatadi;

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

u tenglikni (6.17) munosabat bilan taqqoslab ko`rsak:

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

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

$$H_e = \lambda \frac{l}{4R} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \quad (6.20)$$

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

$$H_e = \lambda \frac{l}{D} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \quad (6.21)$$

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



Anri Filibert Gaspard Darsi (1803—1858, Parij) — fransuz gidrotexnigi, Darsi qonunini muallifi (1856), g'ovakli muhitda suyuqlik filtratsiya tezligini asoslagan olim. U birinchi bo'lib o'zining tug'ilgan shahri Dijonda suv ta'minoti tizimini qurish orqali shuhrat qozongan.

**Anri Filibert Gaspard
Darsi**

Bundan ko`rinadiki, (6.19) dagi koeffisient Darsi koeffitsiyentiga bog`liq bo`lib, ya'ni

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

u quvurning uzunligiga to`g`ri proporsional, diametiriga teskari proporsional ekan. Suyuqlikning quvurdagi laminar harakati uchun yuqorida nazariy formula (5.11) olingan edi. Turbulent harakat vaqtida esa bunday munosabatni nazariy usul bilan chiqarib bo`lmagani uchun, uni emperik yoki yarim emperik usullarda aniqlanadi.

Hozirgi zamon gidravlikasida Darsi koeffitsiyenti λ umumiy Holda Reynolds soniga va quvur devorlarining g`adir-budirligiga bog`liq deb hisoblanadi. λ ni Hisoblash uchun juda ko`p empirik formulalar mavjud bo`lib, ular ichida eng mashhurlari quyidagilar.

Blazius formulasi 1913 yili juda ko`p mualliflarning tajribalarini analiz qilish natijasida olingan.

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (6.23)$$

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.

6.1-jadval

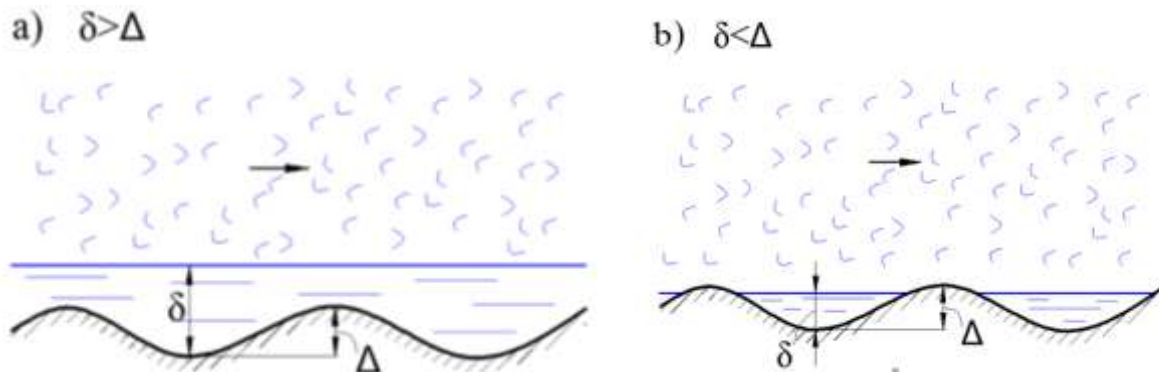
Gidravlik ishqalanish koeffitsientini aniqlash jadvali

Harakat rejimi	Reynolds soni	Hisoblash formulasi
<i>Laminar</i>	$Re < 2320$	$\lambda = \frac{64}{Re}$ <i>Puazeyl</i> (Gagen)

<i>O'tish sohasi</i>		2320<Re<4000	-
<i>Turbulent</i>	<i>1-soha</i>	$4000 < Re < 10 \frac{d}{\Delta}$	$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$ <i>Blazius</i> (Prandtl, Nikuradze, Latipov)
	<i>2-soha</i>	$10 \frac{d}{\Delta} < Re < 560 \frac{d}{\Delta}$	$\lambda = 0,11 \left(\frac{d}{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ Altshul (Latipov, Kolbruk, Uayt)
	<i>3-soha</i>	$Re > 560 \frac{d}{\Delta}$	$\lambda = 0,11 \left(\frac{d}{\Delta} \right)^{0,25}$ <i>SHifrinson</i> (Prandtl, Nikuradze, Latipov)

6.7 Quvur devorining g`adir-budirlik. Absolyut va nisbiy g`adir-budirlik

Quvurlar, kanallar va novlarning devorlari ma'lum darajada g`adir-budirlikka ega bo`ladi. Bu g`adir-budirlik quvurlarning qanday materialdan qilingani va qay darajada silliqlanganiga qarab ularning devor sirtidagi turlicha kattalikdagi yoki juda ham kichik pastlik-do`ngliklar bilan xarakterlanadi. G`adir-budirlikni xarakterlash uchun quvur sirtidagi do`ngliklarning o`rtacha balandligi qabul qilinib, u absolyut g`adir-budirlik deyiladi va Δ bilan belgilanadi (6.5-rasm). Agar absalyut g`adir-budirlik laminar chegaraviy qavatning qalinligi σ 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, Δ laminar qavat qalinligi δ 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. Ikkinchi holda ($\Delta < \delta$) esa do`ngliklar laminar qavatdan chiqib qoladi va quvur devori atrofidagi oqim xususiyatiga ta'sir qilib, gidravlik qarshilikni oshiradi.

Quvurlarning g`adir-budirlikni aniqlash ancha murakkab ish bo`lib, uni hisoblash gidravlik qarshilikni hisoblashni qiyinlashtiradi. Shuning uchun hisoblash ishlarini osonlashtirish maqsadida ekvivalent g`adir-budirlik Δ_e degan

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

6.2 - jadval

Quvurlar uchun absolyut g`adir-budirlik qiymatlari.

Quvurlar	Δ , mm
Yangi metall va sopol quvurlar tekis joylangan va tutashtirilgan holda	0,01-0,15
Yaxshi holatda ishlab turgan vodoprovod quvurlari va juda yaxshi holatdagi beton quvurlar	0,2-0,3
Ozroq ifloslangan vodoprovod quvurlari yaxshi holatdagi beton quvurlar	0,3-0,5
Ifloslangan va ozroq zanglagan vodoprovod quvurlar	0,5-2,0
Yangi cho`yan quvurlar	0,3-0,5
Ko`p foydalanilgan cho`yan quvurlar	1,0-3,0

Ma'lumki, laminar qavatning qalinligi Reynolds soniga bog`liq bo`lib, uning ortishi bilan kamayib boradi. Shuning uchun Reynolds sonining kichikroq qiymatlarida gidravlik silliq quvurlar uning ortishi bilan "g`adir-budir" quvur sifatida ko`riladi. Shuning uchun absolyut g`adir-budirlik quvur devorining oqim harakatiga ta'sirini to`liq ifodalay olmaydi. Shuningdek, quvur g`adir-budirlik uning diametri katta yoki kichik bo`lishiga qarab, suyuqlik oqimiga turlicha ta'sir ko`rsatishi mumkin.

Bularni hisobga olish maqsadida o`xshashlik qonunlarini bajaradigan va oqim gidravlikasiga g`adir-budirlikning ta'sirini to`laroq ifodalaydigan nisbiy g`adir-budirlik tushunchasi kiritiladi va u absolyut g`adir-budirlikning quvur diametriga nisbatiga teng deb olinadi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{D} \quad (6.26)$$

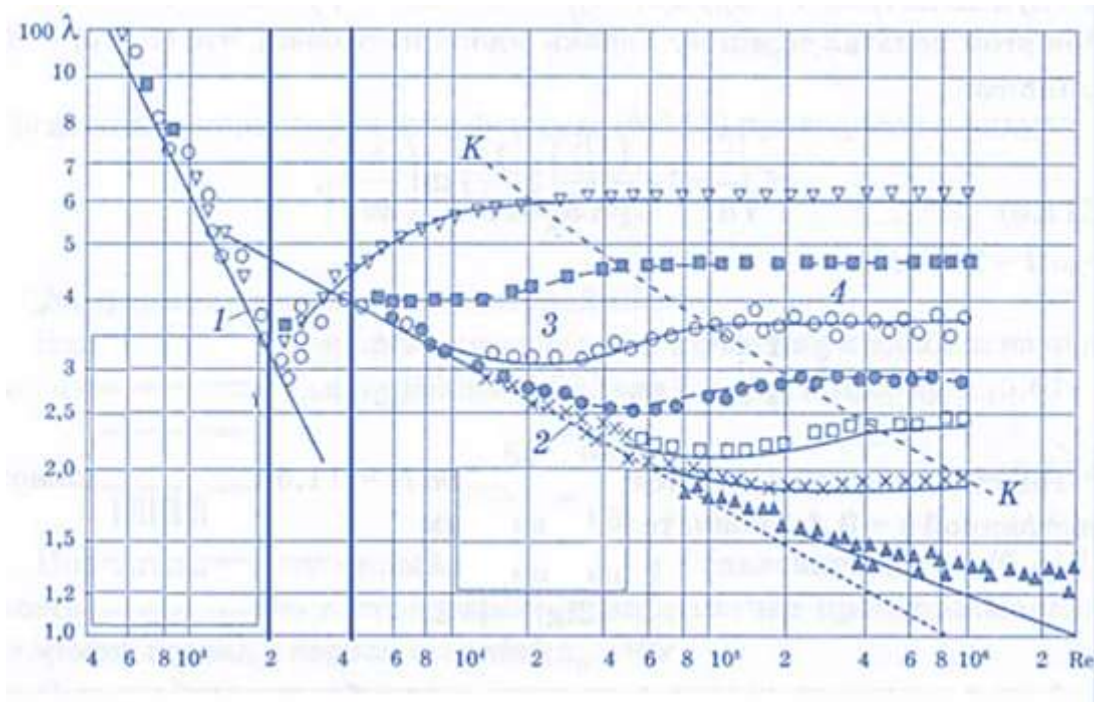
Nisbiy g`adir-budirlikdan foydalanish quvurlardagi ishqalanish qarshiligini hisoblashda ancha qulaylik tug`diradi.

6.8 Nikuradze va Murin grafiklari

Ishqalanish qarshiligi koeffitsiyenti λ 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 qiymatlarida gidravlik yo`qotishni aniqlashga muvaffaq bo`ldi. So`ngra Darsi formulasidan foydalanib, ishqalanish koeffitsiyentini aniqladi. Nikuradze o`z tajribalarining natijasini maxsus grafik ko`rinishida ifodaladi. Bu grafikda koordinata o`qlari bo`yicha $\lg(100\lambda)$ va $\lg Re$ miqdorlarini qo`yib keltirilgan turli nisbiy g`adir-

budurliklar uchun tajriba natijalaridan 6.6-rasmda keltirilgan egri chiziqlarni oladi. Bu grafikdan ko`rinib turibdiki, λ va Re bog`lanishi sohasida uchta zona mavjud.

Birinchi zona *laminar tartib zonasi* bo`lib, tajriba nuqtalari (5.11) formula asosida chizilgan 1 to`g`ri chiziq ustiga tushadi va g`adir-budirlikning turli qiymatlari uchun barcha tajriba nuqtalari shu to`g`ri chiziqda yotadi. Bu natijada laminar zonada ishqalanish koeffitsiyenti g`adir-budirlikka bog`liq emasligi ko`rinadi. Bu zona uchun quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:



6.6 - rasm. Nikuradze grafigi.

- a) Reynolds soni Re nisbatan kichik bo`lib, 1000 dan 2300 gacha o`zgaradi;
- b) bosimning pasayishi H_1 g`adir-budirlikka bog`liq emas;
- v) H_e tezlikka to`g`ri proporsional bo`lib, Puazeyl formulasi tajribalarini yaxshi ifodalaydi;
- g) λ ni (5.11) formula bilan hisoblash mumkin.

Ikkinchi zona turbulent tartibga to`g`ri keladi va tajriba nuqtalari Blazius formulasi (6.23) bo`yicha chizilgan 2 to`g`ri chiziq ustiga tushadi va g`adir-budirlikka bog`liq emas.

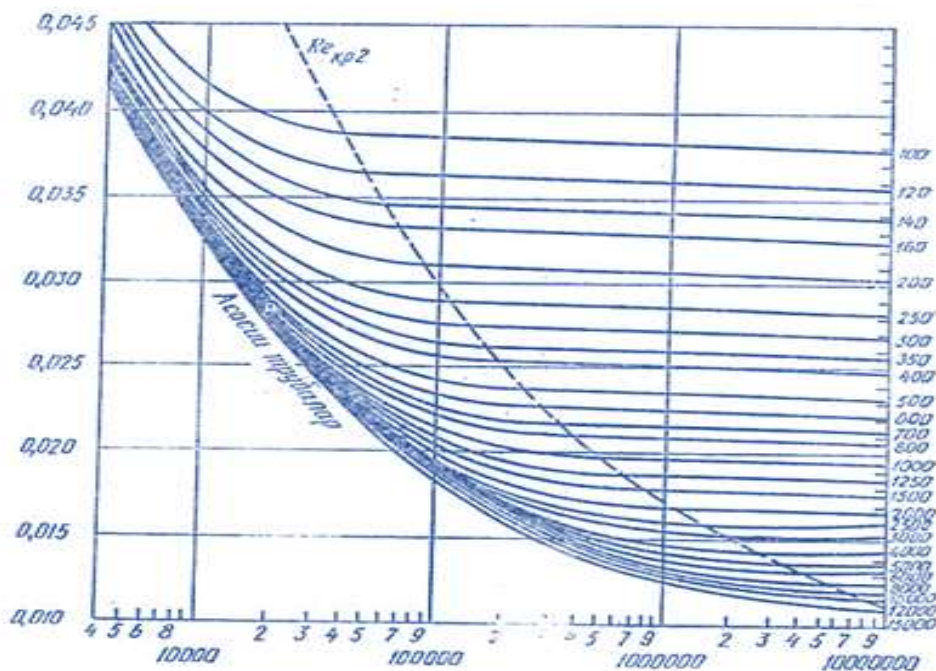
Bu zonada turbulent tartib qat'iy bo`lmagani uchun uni noqat'iy yoki o`tkinchi zona deyiladi (ya'ni uning ichida turbulent tartib laminar tartibga va aksincha, laminar tartib turbulentga o`tish hodisasi yuz beradi).

Bu zonada

- a) Reynolds soni 2300 dan taxminan 10000 gacha o`zgaradi;
- b) suyuqliklar quvurda harakat qilganda ayrim qismlarda turbulent tartib paydo bo`ladi va rivojlanib borib, yo`q bo`ladi va yana paydo bo`ladi;
- v) λ quvurning g`adir-budirlikiga bog`liq emas.

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

1938 y. A.P.Zegda Nikuradze tomonidan kashf qilingan qonuniyatlar kanallar uchun ham to'g'ri ekanligini ko'rsatadi. Ko'rinib turibdiki, Nikuradzening tajribalari sun'iy bir tekis g'adir-budirlikka ega bo'lgan quvurlar uchun o'tkazilgan. Shuning uchun uning natijalari sanoatda va texnikada qo'llaniladigan tabiiy g'adir-budir quvurlar uchun to'g'rimi, bu quvurlar uchun g'adir-budirlikning qiymati qanday miqdorga teng ekanligi aniqlanmagan edi. Bu masalani hal qilishga Kolbruk, I.A.Isayev, G.A.Murin, F.A.Shevelevlarning ishlari bag'ishlangan edi. Bu ishlar ichida Murinning sanoatdagi po'lat quvurlarning gidravlik qarshiligini aniqlash bo'yicha o'tkazgan tajribalari to'liq bo'lib, u 1948 yili yakunlandi. Murin tajribalarining natijasi 6.7-rasmda keltirilgan bo'lib, λ ning Reynolds soniga bog'liqligi turli g'adir-budirlikka ega bo'lgan, po'lat quvurlar uchun grafik ko'rinichida ifodalangan. Murin tajribalari tabiiy quvurlar uchun Nikuradze kashf qilgan qonuniyatlarni to'g'ri ekanligini tasdiqlash bilan bir qatorda, yangi qonuniyatni, ya'ni tabiiy g'adir-budir quvurlarda ishqalanish koeffitsiyeti λ o'tkinchi zonada barqarorlashgan turbulentlik zonasiga qaraganda kattaroq qiymatga ega ekanligini ko'rsatdi (Nikuradze tajribalari buning aksini ko'rsatadi). Bundan xulosa shuki, su'niy g'adir-budir quvurlarda λ Reynolds soni ortib borishi bilan ortib o'tkinchi zonada barqarorlashgan trubulentlik zonasiga qaraganda kam bo'lsa λ tabiiy g'adir-budir quvurlarda Re ning ortishi bilan kamayib boradi.



6.7 - rasm. Murin grafigi.

6.9 Gidravlik silliq va g'adir-budir quvurlar

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

$$H_e = BV^m \quad (6.27)$$

Laminar harakat uchun chiziqli qarshilik qonuni o'rinli bo'lib, (6.27) da $m = 1$ bo'ladi, ya'ni $H_e = B_1 V$.

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 λ II to`g`ri chiziq bilan ifodalanadi, $Re > 100000$ da egri chiziq bilan ifodalanib, II to`g`ri chiziqning davomi sifatida ko`rinadi. Murin grafigida bu egri chiziq eng pastki chiziqqa to`g`ri keladi.

Birinchi sohada:

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

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

v) He , shuningdek, λ Blazius yoki Prandtl formulasidagi kabi faqat Reynolds soniga bog`liq, ya'ni $\lambda = f(Re)$.

Ikkinchi soha g`adir-budir quvurlarning gidravlik qarshiliklari uchun kvadratgacha qarshilik sohasi deyiladi. II to`g`ri chiziqdan ajralib chiqqa boshlagan chegarada $m = 1,75$ bo`lib, punktir chiziqdan o`ngda $m = 2$ bo`ladi. Bu oraliqdagi chiziqning 1,75 va 2 orasidagi qiymatlarga mos kelib, bir tekis g`adir-budirlikka ega bo`lgan quvurlar uchun maksimumga ega bo`lishi mumkin. Tabiiy quvurlar uchun esa m ning qiymati, yuqorida aytilgan oraliqda, $m = 1,75$ dan $m = 2$ ga tekis o`zgarib boradi.

Shuning uchun ikkinchi sohada λ Reynolds soniga ham nisbiy g`adir-budirlikka ham bog`liq bo`ladi.

$$\lambda = f(Re, \varepsilon) \quad (6.28)$$

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) λ koeffitsiyent Reynolds soniga bog`liq emas;

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

6.10 Darsi koeffitsiyentini aniqlash uchun formulalar va ularning qo`llanish sohalari

Darsi koeffitsiyenti λ ning Reynolds Re sonining ortishiga qarab qanday o`zgarib borishini yuqorida, Nikuradze va Murin grafiqlari asosida ko`rib chiqdik. Ko`rib o`tilgan sohalarda λ ning o`zgarish qonunini emperik formulalar bilan ifodalashga juda ko`p mualliflarning ishlari bag`ishlangan. Misol uchun silliq quvurlar sohasida Blazius (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 boʻlgan formulani taklif qiladi.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,5}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,7} \right). \quad (6.29)$$

Bu formulani gʻadir-budir quvurlarning kvadratik qarshilik sohasi uchun soddalashtirsak, gʻadir-budir quvurlar uchun Prandtl formulasi koʻrinishiga keladi:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\lg \frac{\varepsilon}{3,7} \right)^2} \quad (6.30)$$

Kvadratik qarshilik sohasi uchun eng koʻp tarqalgan formulalardan biri Nikuradze formulasi hisoblanadi:

$$\lambda = \frac{1}{(1,74 - 2 \lg \varepsilon)^2} \quad (6.31)$$

Turbulent tartibning barcha sohalarida oʻz ichiga oluvchi va hisoblash ishlarida (6.29) ga koʻra qulayroq formulani A.D. Altshul tajribalariga asoslanib, λ ning keng sohasi uchun oʻrinli 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 koʻrinishlarga keladi:

1) $Re < \frac{10}{\varepsilon}$ boʻlganda, silliq quvur boʻladi va (6.32) Blazius formulasiga aylanadi:

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

2) $\frac{10}{\varepsilon} < \frac{500}{\varepsilon}$ boʻlganda, λ ga Re ham, ε ham taʼsir koʻrsatadi va kvadratgacha qarshilik sohasiga toʻgʻri keladi. Bu holda (6.32) soddalashmaydi.

3) $Re > \frac{500}{\varepsilon}$ boʻlganda, esa kvadratik qarshilik sohasi boʻlib, (6.52) Shiferson formulasi deb ataluvchi quyidagi formulaga aylanadi:

$$\lambda = 0,11 \sqrt[4]{\varepsilon}. \quad (6.33)$$

Bu formula boʻyicha hisoblangan λ ning qiymatlari uning Nikuradze formulasi boʻyicha hisoblangan qiymatlariga yaqin keladi.

Prof. Q.Sh.Latipov tomonidan olingan quyidagi formula Nikuradze grafigini toʻliq ifodalaydi (6.8 - rasm).



Q.Sh.Latipov

Latipov Qudrat Sharipovich - (1937-2016)
Universitetimiz “Gidravlika va gidroinformatika”
kafedrasida faoliyat ko’rsatgan yetuk olim. 1974 yil
texnika fanlari bo’yicha doktorlik dissertatsiyasini
himoya qilgan. U atoqli olim, akademik X.A.Raxmatulin
izdoshi hamda Gidravlika fanidan davlat tilida ilk
darslikning muallifi hisoblanadi.

$$\lambda = \frac{8}{\text{Re}} \frac{\chi I_0(x)}{I_2(x)}; 0 \leq \text{Re} \leq 10^6, \quad (6.34)$$

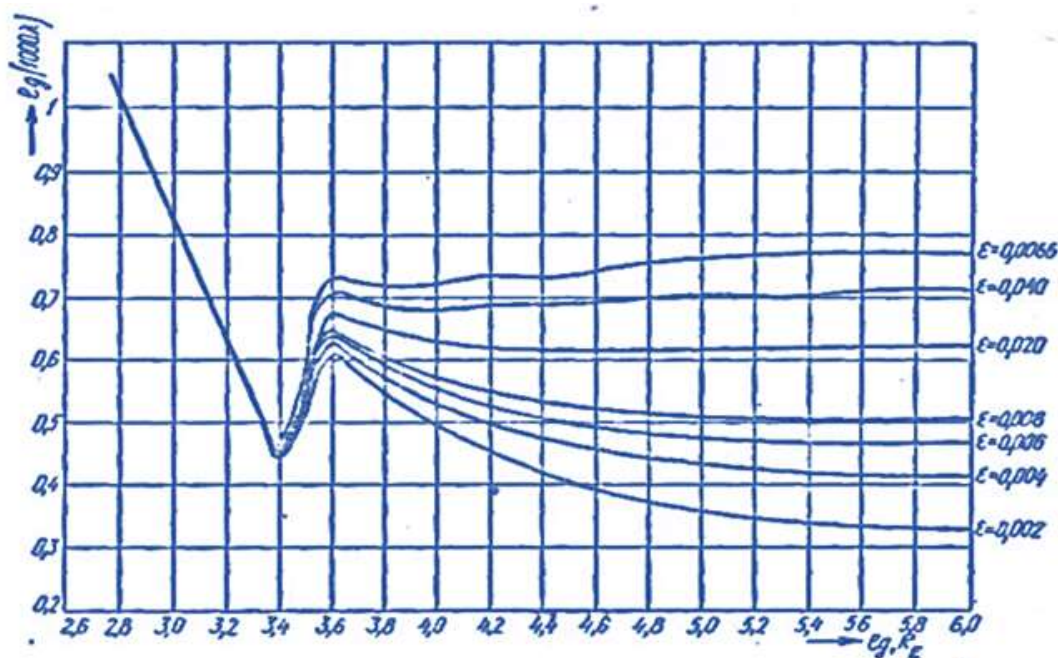
bu yerda: l_0, l_2 - mavhum argumentli Bessel funktsiyalari

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

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

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

$$a_n = 3500; n = 3$$



6.8 - rasm. λ ning (6.34) formula bo’yicha hisoblangan grafigi.

6.11 Nosilindrik quvurlardagi harakatlar

Nosilindrik quvurlarda suyuqlik harakat qilgandagidek hollar uchun ham bosimning kamayishi Darsi formulasi bo’yicha hisoblanadi. Lekin, bu holda hisoblash quvur diametri D bo’yicha emas, balki gidravlik radius bo’yicha hisoblanadi. Bu holda Darsi formulasi (6.20) ko’rinishida yoziladi.

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

Nosilindirik quvurlarda harakat tartibi ham gidravlik radius orqali ifodalangan Reynolds soni

$$R'e = \frac{g4R}{v}$$

yoki aytilgan quvurlar uchun qabul qilingan Reynolds soni

$$Re' = \frac{Re}{4} = \frac{gR}{v}$$

bo'yicha hisoblanadi. Bu holda yangi turdagi Reynolds sonining kritik qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$Re_{kr} = \frac{Re_{kr}}{4} = 575$$

Bu holda, laminar harakat uchun qarshilik koeffitsiyenti yangi Reynolds soniga mos ravishda o'zgaradi.

Nosilindirik quvurlarga misol sifatida quyidagilarni ko'rsatish mumkin.

1) halqasimon quvur.

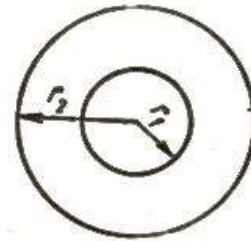
a) harakat kesim

$$\omega = \pi(r_2^2 - r_1^2);$$

b) ho'llangan perimetr

$$\chi = 2\pi(r_2 + r_1);$$

v) gidravlik radius



6.9 - rasm. Halqasimon quvurning kesimi

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

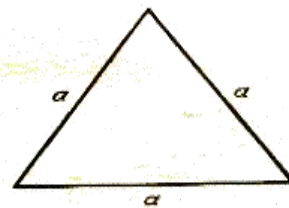
2) teng tomonli uchburchak quvur

a) harakat kesimi

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

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

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



6.7 - rasm. Teng tomonli

uchburchak quvurning kesimi.

3) to'g'ri to'rtburchak quvur

a) harakat kesimi

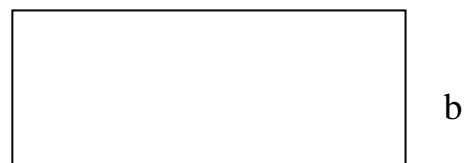
$$\omega = ab$$

b) ho'llangan perimetr

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

v) gidravlik radius

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



6.8 - 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-budirlik esa $\varepsilon = \frac{\Delta}{D} = \frac{\Delta}{4R}$ bo'yicha hisoblanadi. Bundan ham soddaroq qilib aytganda, ekvivalent diametr $d_{ek}=4R$ tushunchasi kiritilib, avvalgi keltirilgan Darsi formulasi Reynolds soni va λ uchun formulalarga D o'rniga d_{ek} qo'yib, avvalgidek hisoblanadi.

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma

Masala: Gidrotizim uchlariga o'rnatilgan manometrlarning ko'rsatishlari $P_1 = 4$ kPa va $P_2 = 0,5$ kPa bo'lib, gidrotizim uzunligi $l = 500$ sm va diametri $d = 20$ mm bo'lsa, gidrotizimdagi harorati $t = 50^\circ\text{C}$ bo'lgan motor moyining sarfini aniqlang ($\rho = 950$ kg/m³)

Yechimi: Jadvaldan harorati $t = 50^\circ\text{C}$ bo'lgan motor moyining kinematik yopishqoqlik koeffitsiyentini $\nu = 30$ mm²/s deb olamiz.

Suyuqlik sarfini u holda quyidagicha aniqlaymiz:

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

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

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

7-bo'lim. 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 ζ mahalliy qarshilik koeffitsiyenti deb ataladi va asosan tajriba yo'li bilan aniqlanadi.

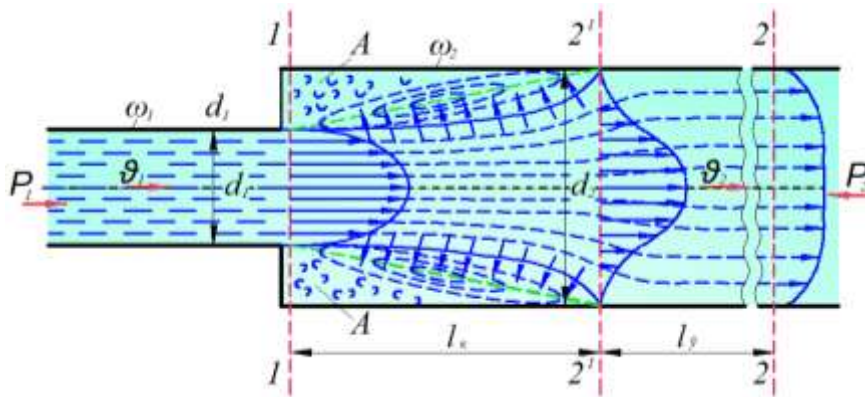
Yuliy Lyudvig Vaysbax (1806—1871) — matematik va gidromexanik olim. U 1822 yilda Frayberg konchilik akademiyasida tahsil oldi, keyinchalik Gettingen universitetida matematika bo'yicha ma'ruzalarda qatnashdi. 1833 yilda u Frayberg konchilik akademiyasida amaliy matematika o'qituvchisi lavozimini egalladi va u yerda vafotigacha qoldi.



Yu. Veysbax

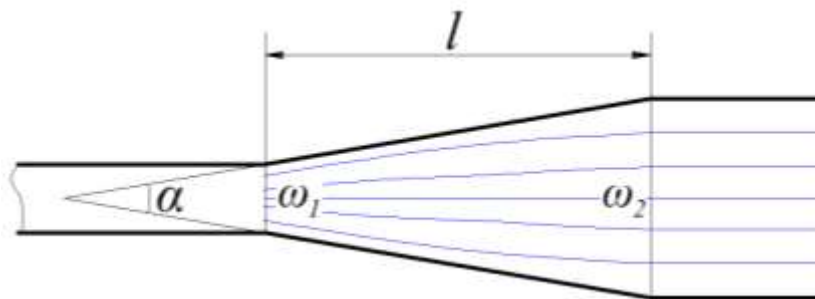
Mahalliy qarshiliklarning asosiy turlari haqida to'xtalib o'tamiz.

1) **Keskin kengayish** (7.1 - rasm). Mahalliy qarshilikning bu turida ζ 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.

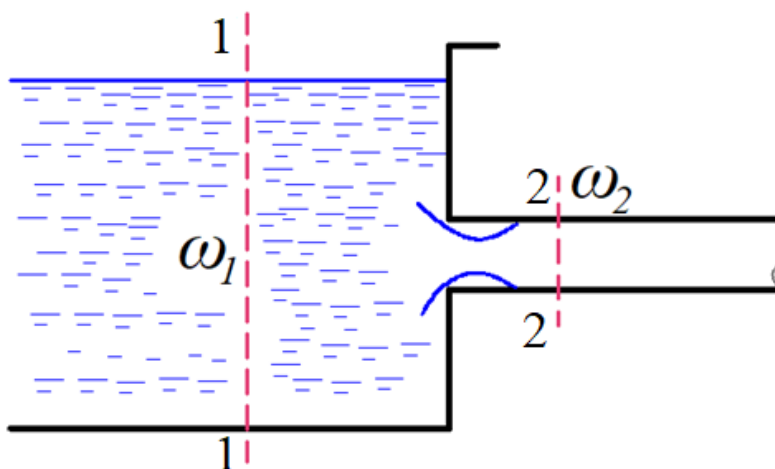
2) **Tekis kengayish** (7.2 - rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti kesimning o'zgarishiga va konuslik burchagi α ga bog'liq bo'lib, kesimlar nisbati $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ ning kamayishi va α ning ortishiga qarab ortadi.



7.2 - rasm. Tekis kengayish.

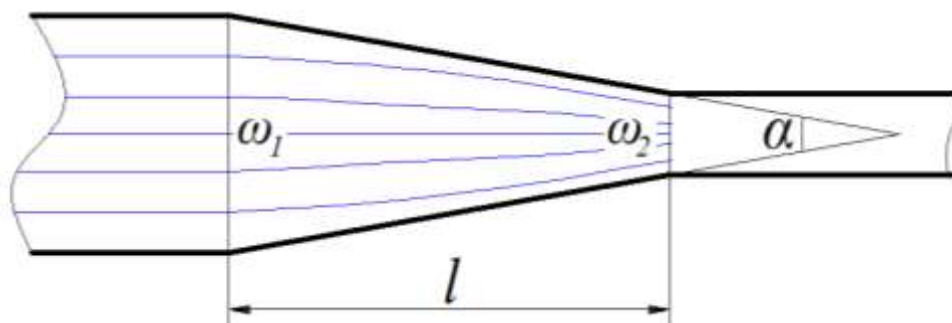
Avval ko'rilgandagi kabi 2-2 kesimda 1-1 kesimdagiga nisbatan bosim ortadi ($p_2 > p_1$) va tezlik kamayadi ($\vartheta_2 < \vartheta_1$).

3) **Keskin torayish** (7.3-rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ξ kesimlar o'zgarishiga bog'liq bo'lib, ularning nisbati ortishi bilan ortadi. Bu holda energiyaning sarf bo'lishi keskin kengayishiga nisbatan kam bo'ladi.



7.3 - rasm. Keskin torayish.

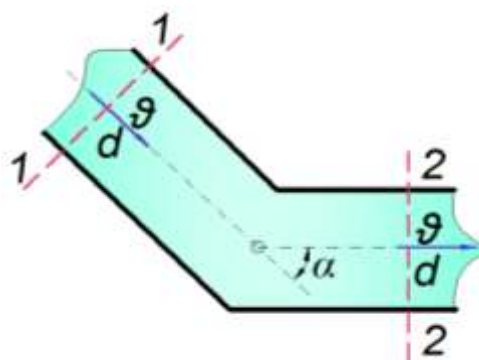
4) **Tekis torayish** (7.4 - rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti kesimlar nisbati $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ ning va konuslik burchagining ortishi bilan ortadi. Keskin torayishda ham, tekis torayishda ham 2-2 kesimda 1-1 kesimga nisbatan bosim kamayib ($p_2 < p_1$), tezlik ortadi ($V_2 > V_1$).



7.4 - rasm. Tekis torayish.

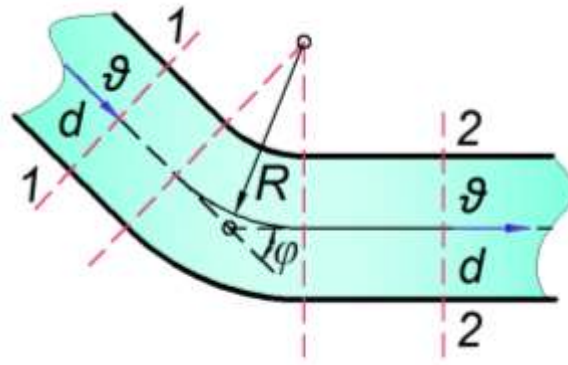
1) **Tirsak** (7.5 - rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ikki quvurning tutashish burchagiga bog`liq bo`lib, bu burchakning ortishi bilan ortadi.

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



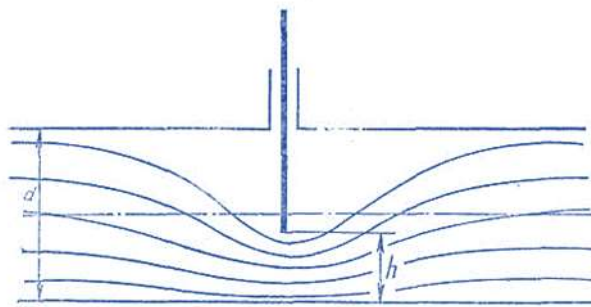
7.5 - rasm. Tirsak

6) **Burilish** (7.6 - rasm). Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti burilish burchagi φ va quvur diametrining burilish radiusi R_b ning nisbatiga bog`liq bo`ladi. Burilishda ξ quvur diametrining burilish radiusiga nisbati $\frac{D}{R_b}$ ortishi bilan ortib boradi.



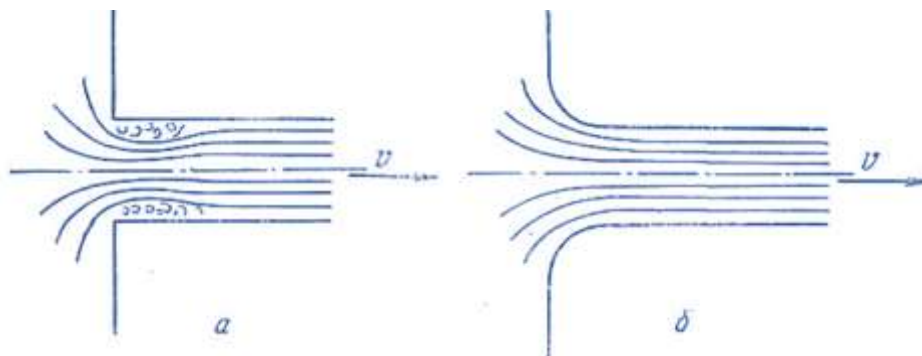
7.6 - rasm.Burilish.

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 silliqanib, quvurga suyuqlik kirishiga kam qarshilik ko`rsatadigan shakl berilgan bo`lsa, ξ ning miqdori kirishning silliqlik darajasiga qarab $\xi = 0,04 \div 0,10$ oralig`ida bo`ladi (ko`p hollarda o`rtacha $\xi = 0,08$ qabul qilinadi).



7.7 - rasm.Quvurga kirish

8) **Diafragma**. Quvurga o`rnatiladigan va suyuqlik sarfini o`lchash uchun ishlatiladigan o`rtasi teshik disk diafragma aytiladi (7.8 - rasm). Bu holda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti quvurning kesimi S_1 va diafragma teshigi kesimi ω_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.

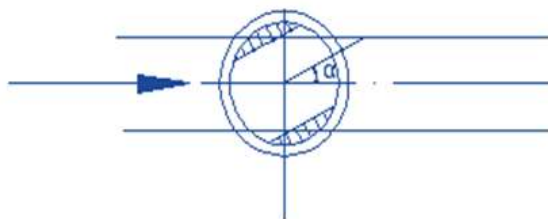
Diafragma uchun qarshilik koeffitsiyentiining o`zgarishi

$\frac{\omega_0}{\omega_1}$	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 klapaning va tiqin jo`mrakning ochilish burchagiga bog`liq bo`lib, $\alpha=20^0$ dan 50^0 gacha bo`lganda ξ 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 mahalliy qarshiliklarni vujudga keltiruvchi to`siqlarning turlari to`g`risda to`xtalib o`tdik. Bu to`siqlarda oqimning turbulent tartibga xos bo`lgan hollaridagi qarshilik koeffitsiyentining o`zgarishini ko`rgan edik. Turbulent harakat vaqtida ξ koeffitsiyenti qarshilik ko`rsatuvchi to`siq shakliga, kattaligiga, to`siqlarning ochilish darajasiga bog`liq bo`lishidan tashqari, suyuqlik harakatining tartibiga, ya'ni Reynolds soniga ham bog`liq bo`ladi. Tajribalar ko`rsatishicha, Reynolds sonining katta qiymatlarida harakat tartibi turbulent bo`lsa, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ξ ning Re soniga bog`liqligi juda ham sezilarsiz darajada bo`lib, bu bog`liqlikni to`siqlar shakli, turi va ochilish darajasining ta'siriga nisbatan hisobga olmaslik mumkin. Quyida biz turbulent

oqim uchun mahalliy qarshilikning asosiy turlarida ξ koeffitsiyentni hisoblash ustida to'xtalib o'tamiz.

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 ξ ni nazariy usul bilan hisoblash mumkin. Buning uchun quvurning tor qismida 1-1 kesim olamiz. Quvurning kengaygan qismida esa keskin kengayishdan keyin oqim kengayib bo'lib, barqarorlashgan qismida 2-2 kesim olamiz. 1-1 kesimda tezlik v_1 , bosim p_1 2-2 kesimda esa tezlik v_2 va bosim p_2 bo'lsin. Bu kesimlarga pezometr o'rnatdik, $p_2 > p_1$ bo'lgani uchun 1-1 kesimdagi pezometrda suyuqlik sathi 2-2 kesimdagi pezometrda suyuqlik sathidan h qadar past bo'ladi. Agar kesimning kengayishi hisobiga gidravlik yo'qotish bo'lmaganda edi, bu farq Δh miqdorda ko'proq bo'lardi. Ana shu ikkinchi pezometrda suv sathining Δh qadar pasayib qolishi mahalliy gidravlik yo'qotishdan iboratdir.

1-1-kesimning sirti ω_1 2-2 kesimning sirti esa S_2 bo'lsin. U holda bu kesimlar yuzasi bo'yicha tezlik bir xil (ya'ni $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 1$) deb hisoblasak, Bernulli tenglamasi shunday yoziladi

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{keng} \quad (7.2.)$$

Endi, 1-1 va 2-2 kesimlar o'rtasidagi suyuqlikning silindrik hajmi uchun harakat miqdorining o'zgarishi teoremasini qo'llaymiz. Buning uchun yon sirtlardagi urinma kuchlanishni taxminan nolga teng deb olib, aytilgan hajmga ta'sir qilayotgan tashqi kuchlar impulsini hisoblaymiz. 1-1 kesimni quvur kengayish kesimining ustida olingan deb qarash mumkin. U holda silindr asoslarining yuzalari tengligidan ularga ta'sir qiluvchi impul's o'zgarishi shunday yoziladi

$$(p_1 - p_2)\omega_2$$

1-1 kesimdagi harakat miqdori $\rho Q v_1$ va 2-2 kesimdagi harakat miqdori $\rho Q v_2$ bo'lgani uchun ular orasidagi harakat miqdorining o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi.

$$\rho Q (v_2 - v_1).$$

Bu ikki miqdorni tenglashtirib, ushbu tenglamani olamiz:

$$(p_1 - p_2)\omega_2 = \rho Q (v_2 - v_1).$$

Tenglamani ikki tomonini $\omega_2 \gamma$ ga bo'lsak u holda $Q = \omega_2 v_2$ ni hisobga olib, ushbu tenglamani olamiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\rho Q}{\gamma \omega_2} (v_2 - v_1) = \frac{v_2}{g} (v_2 - v_1). \quad (7.3)$$

Oxirgi tenglamaning $(v_2 - v_1)$ hadi ustida quyidagi amallarni bajaramiz

$$g_2(g_2 - g_1) = g_2^2 - g_2g_1 = \frac{g_2^2}{2} + \frac{g_2^2}{2} - \frac{2g_1g_2}{2} + \frac{g_1^2}{2} - \frac{g_1^2}{2}$$

U holda (7.3) tenglama ushbu ko`rinishga keladi

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{g_2^2}{2g} - \frac{g_1^2}{2g} - \frac{2g_1g_2}{2g} + \frac{g_2^2}{2g} + \frac{g_1^2}{2g} = \frac{g_2^2}{2g} - \frac{g_1^2}{2g} + \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g}.$$

Oxirgi tenglama hadlarini bir xil indekslar bo`yicha guruhlasak,

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

Bu tenglamani (7.2) bilan solishtirsak, quyidagi kelib chiqadi

$$H_M = h_{keng} = \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g} \quad (7.4)$$

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

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

ni qo`llasak, quyidagi ko`rinishda yoziladi

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

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 ishlarida keng qo`llaniladi. Quvurning kengaygan kesimi avvalgi kesimdan juda keng bo`lsa ($\omega_2 \gg \omega_1$), u holda $\zeta \approx 1$ bo`ladi

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

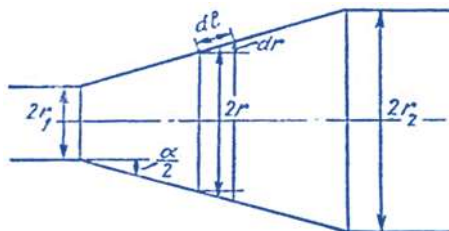
Bu xususiy holda oqimning butun kinetik energiyasi mahalliy qarshilikning yengish uchun sarf bo`ladi.

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

7.4 Diffuzorlar

Tekis kengayib boruvchi quvurlar (7.11 - rasm) diffuzorlar deyiladi. Diffuzorlarda harakat tezligi kamayadi va bosim ortib boradi. Suyuqlik zarrachalari ortib borayotgan bosimni yengish uchun o`z kinetik energiyasini sarflaydi, natijada diffuzorlarning kengayish yo`nalishida kinetik energiya kamayib boradi. Suyuqlikning devor yonidagi qavatlarining energiyasi shunchalik kamayadiki, ortib borayotgan bosim kuchini yenga olmay qoladi va natijada

harakatdan to'xtaydi yoki teskari yo'nalishda harakat qila boshlaydi. Asosiy oqim ana shu teskari harakatlanayotgan oqim bilan to'qnashishi natijasida uyurmali harakat vujudga kelib, oqimning quvur sirtidan ajralish hodisasi yuz beradi. Bu hodisaning tezkorligi diffuzorning konuslik burchagi ortishi bilan kuchayib boradi va uyurmali harakat hosil qilishga 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

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

bu yerda: h_i - bosimning ishqalanish hisobiga pasayishi; h_{keng} - bosimning kengayish hisobiga pasayishi. Bosimning ishqalanish hisobiga pasayishini taxminan hisoblash mumkin. Buning uchun diffuzorni diametri $2r$, yon sirti diffuzor sirti bilan $\frac{\alpha}{2}$ burchak tashkil qilgan va radiuslari r_1 dan r_2 gacha o'zgarib boruvchi uzunligi d_1 bo'lgan elementar silindrik naychalardan tashkil topgan deymiz (7.11 - rasm). U holda har bir elementar naycha uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

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

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

$$dl = \frac{dr}{\sin \frac{\alpha}{2}} \text{ va } \varrho = \frac{\omega_1}{\omega_2} \varrho_1 = \left(\frac{r_1}{r} \right)^2 \varrho_1$$

ni hisobga olib

$$dh_u = \lambda_u \frac{dr}{2r \sin \frac{\alpha}{2}} \left(\frac{r_1}{r} \right)^4 \frac{\varrho_1^2}{2g}$$

formulani keltirib chiqaramiz.

Bu tenglikda dr (ya'ni d_1) ni nolga intiltirib borsak, bosimning ishqalanish hisobiga kamayishni tenglikning chap tomondan 0 dan h_i gacha, o'ng tomondan r_1 dan r_2 gacha itegral olish yo'li bilan hisoblaymiz:

$$h_i = \lambda_i \frac{r_1^4}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \frac{\varrho_1^2}{2g} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^5} = \frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^4 \right] \frac{\varrho_1^2}{2g}. \quad (7.6)$$

Kengayish hisobiga bosimning pasayishini hisoblash uchun keskin kengayishdagi (7.4) formuladan foydalanamiz va bunda diffuzor keskin kengayishini taxminiy ifodalangani uchun k koeffitsiyent kiritamiz. U holda

$$h_{keng} = k \frac{(\varrho_1 - \varrho_2)^2}{2g} = k \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \frac{\varrho_1^2}{2g}. \quad (7.7)$$

k – tajribada aniqlanadigan koeffitsiyent bo`lib, 5 – 20⁰ konuslik burchagiga ega bo`lgan diffuzorlar uchun I.E.Idelshikning tajribadan aniqlangan formulasi bo`yicha

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

Flingerning taxminiy formulasi bo`yicha

$$k = \sin \alpha$$

ga teng. Buni hisobga olib (7.6) va (7.7) yig`indisidan quyidagini olamiz:

$$H_M = h_{dif} = \left[\frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2 \right] \frac{V_1^2}{2g} = \zeta_{dif} \frac{V_1^2}{2g}, \quad (7.8)$$

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:

$$\zeta_{dif} = \frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)^2. \quad (7.9)$$

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

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

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

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

7.5 Quvurlarning torayishi.

Keskin torayishda (7.11 - 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. Uyurmalarining paydo bo`lishi esa oqimning tor quvurga kirish oldidagi burchakni aylanib o`ta olmay, keng quvur sirtidan ajralishiga va torayishiga,

natijada quvur devori va oqim orasida juda sekin 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:

$$H_M = h_{tor} = \zeta_0 \frac{g_1^2}{2g} + \frac{(g_1 - g_2)^2}{2g} = \zeta_{tor} \frac{g_2^2}{2g}, \quad (7.10)$$

bu yerda: ζ_0 – tor quvurga kirishdagi ishqalanishni aniqlovchi qarshilik koeffitsiyenti; V_t - 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:

$$\zeta_{tor} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right). \quad (7.11)$$

Formulalardan ko`rinib turibdiki, $\frac{1}{n} \approx 0$ deb hisoblash mumkin bo`lsa, ya'ni katta idishdan quvurga kirish holida, agar kirish burchagi silliqlangan bo`lmasa, qarshilik koeffitsiyenti (1.70 - rasm) $\zeta_{tor} = 0,5$ bo`ladi. Kirish burchagi (kirish qirrasini) silliqlangan bo`lsa, qarshilik kuchi kamayadi.

Tekis torayish (7.11 - rasm) konfuzor deb ataladi. Konfuzorda suyuqlik oqayotganda tezlik ortib, bosim kamayib boradi. Suyuqlik katta bosimli sohadan kichik bosimli sohaga qarab harakat qilgani uchun uyurmalar paydo bo`lishi va diffuzordagi kabi oqimning sirtidan ajralishiga hech qanday sabab yo`q. Shuning uchun konfuzorda energiya faqat ishqalanishga sarf bo`ladi. Shunday qilib, konfuzordagi qarshilik kuchi xuddi shunday diffuzordagiga qaraganda kichik bo`ladi.

Konfuzordagi bosimning pasayishini diffuzordagi kabi elementar bo`laklarga bo`lib, so`ngra integrallab hisoblash mumkin. Shu usul bilan quyidagi formulani olamiz:

$$H_M = \frac{\lambda_i}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) \frac{g_2^2}{2g} \quad (7.12)$$

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 sopro deyiladi.

7.6 Tirsaklar

Quvurlarning keskin burilishi yoki tirsaklarda (7.12 - rasm), odatda anchagina miqdorda energiya sarf bo`ladi. Tirsaklarda energiya sarfiga oqimning (quvur sirtidan) ajralishi va uyurmalar yuzaga kelishi sabab bo`lib, φ burchak qancha katta bo`lsa, sarf ham shuncha ko`p bo`ladi.

Silindrik quvurlardagi tirsaklarda mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ζ_{tr} burchakning o`lishi bilan juda keskin o`shib, $\varphi = 90^0$ da 1 ga teng bo`ladi. Kichik diametrli quvurlardagi tirsaklar uchun qarshilik koeffitsiyentini ushbu formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\zeta_{tr} = 0,946 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2,047 \sin^4 \frac{\varphi}{2}. \quad (7.13)$$

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 ζ_b ni hisoblash uchun ushbu formuladan foydalaniladi:

$$\zeta_b = \left[0,131 + 0,163 \left(\frac{D}{R_b} \right)^{3,5} \right] \frac{\varphi}{90^0}. \quad (7.14)$$

$\varphi = 90^0$ 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.

$$\zeta_b = \left(0,7 + \frac{\varphi 0,35}{90^0} \right) \zeta'_b \quad (7.16)$$

Burilishdagi bosimning pasayishi qarshilik koeffitsiyenti aniqlashga keladi

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

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.

7.7 Reynolds sonining kichik qiymatlarida mahalliy qarshilik koeffitsiyenti.

Yuqorida aytganimizdek, Reynolds sonining katta qiymatlarida (agar harakat turbulent bo`lsa) mahalliy qarshilikning Re ga bog`liqligi shunchalik kichikki, uning ta'sirini hisobga olmasa ham bo`ladi. U holda, yuqorida keltirilgan usullar bilan turli qarshilik koeffitsiyentlarini hisoblash mumkin.

Laminar harakat vaqtida esa umumiy qarshilik ishqalanish kuchi va uyurmalar yuzaga kelishi hisobiga paydo bo`lgan qarshiliklar yig`indisiga teng. Buni hisobga olib, o`tkazilgan tajribalar mahalliy qarshilik koeffitsiyentini quyidagi ko`rinishda ifodalashga imkon beradi:

$$\zeta = \frac{A}{Re} + B \quad (7.17)$$

Keyinchalik o'tkazilgan A.D. Altshul, V.N.Karayev va N.Z. Frenkellarning tajribalari Reynolds sonining kichik qiymatlarida ($Re < 9$) mahalliy qarshilik koeffitsiyentini Re ga teskari proporsional ko'rinishda olish mumkin ekanligini ko'rsatadi:

$$\zeta = \frac{A}{Re} \quad (7.18)$$

Demak, Reynolds sonining juda kichik qiymatlarida qarshilik koeffitsiyenti mahalliy qarshilikning shakliga bog'liq bo'lmay, faqat Re soniga bog'liq bo'lar ekan.

Laminar tartibli oqimlar uchun Reynolds sonining kattaroq qiymatlarida esa mahalliy qarshilik (2.17) ka qaraganda biroz murakkabroq ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

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

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

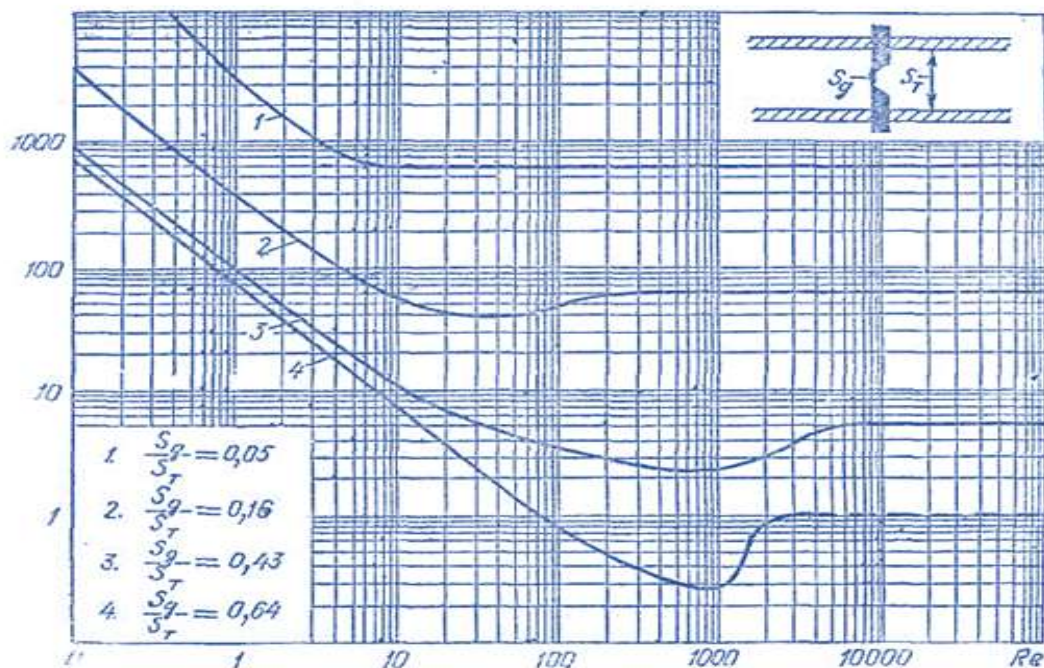
F.P.Tolstolesovning tajribalari bo'yicha $m = 0,285$ bo'lib,

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

"Azneftkombinat"ning gidravlik laboratoriyasida o'tkazilgan tajribalar bo'yicha $m = 0,25$ bo'ladi:

$$\zeta = \frac{C_1}{Re^{0,25}}$$

Tajriba natijalaridan ko'rinadiki, Reynolds sonining kattaligi ortishi bilan mahalliy qarshiliklar shaklining ta'siri ortib boradi, $Re > 3500$ bo'lganda, xususan turbulent tartibga o'tganda, bu ta'sir hal qiluvchi rol o'ynaydi.



7.12 - rasm. Kichik Re da mahalliy qarshilik

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 $1g\zeta, 1gRe$ ga chiziqli bog'liq bo'lib, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti uchun (2.17) formulaning to'g'ri ekanligi ko'rinadi. Reynolds soni kattalashgan sari bu qonuniyat o'zgarib boradi.

Mahalliy qarshiliklarda Re soni kichik bo'lgan hollarda amaliy hisob ishlari uchun gidravlik yo'qotishni quvurning ekvivalent uzunligi bilan almashtiriladi. Ekvivalent uzunlik deb ko'rilayotgan quvurning shunday uzunligi olinadiki, undagi ishqalanish qarshiligi mahalliy qarshilikka teng. Bu holda:

$$H_M = \zeta_M \frac{g^2}{2g} = \lambda \frac{l_{kv}^e}{D} \frac{g^2}{2g} \quad (7.19)$$

Bundan ekvivalent uzunlik uchun formula chiqaramiz:

$$l_{kv} = \zeta_M \frac{D}{\lambda} \quad (7.20)$$

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

7.8 Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitatsiya hodisasi

Suyuqliklarda gazlarning erishi haqida so'z yuritilgan 8-§ da biz kavitatsiya hodisasi ustida to'xtalib o'tdik va kavitatsiya hodisasi suyuqliklarda agregat holatining o'zgarishi bilan bog'liq ekanligi ko'rsatiladi. Unda kavitatsiya hodisasi bosimning kamayishi yoki temperaturaning ortishiga bog'liq ekanligi aytilgan edi. Mahalliy qarshiliklarda temperatura o'zgarmay, oqim kesimining o'zgarishi natijasida suyuqlikda erigan gazlarning miqdori o'zgaradi. Suyuqliklarning zichligi (yoki solishtirma hajmi) deyarli o'zgarmagani uchun unda erigan gazlarga Boyl-Mariot qonunini qo'llash mumkin bo'ladi.

$$pV = RT$$

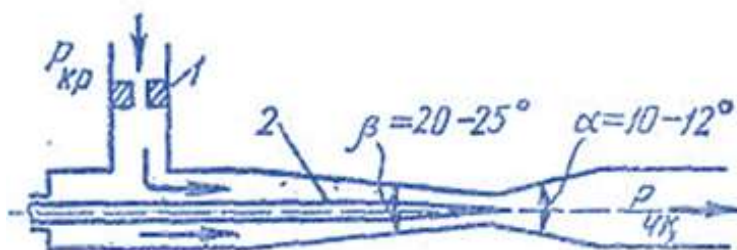
bu yerda: p - bosim, V - solishtirma hajm, T - absolyut temperatura, R - gaz doimiysi.

Suyuqlik oqimlarida temperatura o'zgarmagani va ko'ndalang kesim kichrayganda bosim ortib, kesim kattalashganda bosim kamaygani uchun mahalliy torayish mavjud joylarda tezlik ortib, bosim kamayadi (masalan, keskin torayish, konfuzor, jo'mraklar, teshikchalar, diafragmalar va h. k.). Agar bu yerda absolyut bosim suyuqlikning to'yingan bug'larining shu temperaturadagi 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 odatdagi tartibning buzilishiga, ayrim hollarda esa, uning qismlarining ishdan chiqishiga sabab bo'ladi, quvurlarda qarshilikning ortishiga olib keladi.

Shuning uchun mahalliy qarshiliklarda kavitatsiyaning kelib chiqishiga qarshi kurash olib boriladi. Bunday usullardan biri mahalliy qarshilikning bosim kamayuvchi qismida klapanlar yordamida bosimni ko'tarishdan iborat. Lekin bu usul bosimning pasayish darajasi yuqori bo'lganda ko'p foyda bermaydi, ammo kavitatsiyaning zararli ta'sirini kamaytirishga yordam beradi.

7.9 Kavitatsiyadan amalda foydalanish

Kavitatsiya hodisasidan amalda foydalanish ham mumkin. Xususan bu hodisani sarfini stabillash maqsadida Venturi soplolaridan foydalanishda ko'rish mumkin (7.13 - rasm). Kirishdagi bosim p_{kr} o'zgarmagan holda, chiqishdagi bosim p_{chq} kamayishi bilan oqimning tezligi va sarfi ortadi. Lekin tezlik ortishi bilan soploning toraygan qismida bosim kamayadi.



7.13 - rasm. Kavitatsiya hodisasidan sarfini barqarorlashda foydalanish uchun qurilma

Bu bosim kavitatsiyaning boshlanishiga olib keluvchi bosim miqdoriga tenglashsa yoki undan kamaysa, bug' va erigan gazlarning ajralib chiqishi natijasida suyuqlik qaynay boshlaydi. Bosimning bundan keyingi kamayishi kavitatsiya hodisasi tezkorligining ortishiga va natijada qarshilikning ortishiga, suyuqlik qaynashi boshlanishidan keyin, chiqishdagi bosimning kamayib borishiga qaramay, suyuqlik sarfining o'zgarmasdan qolishiga sabab bo'ladi. p_{chq} ning kamayishi faqatgina diffuzorda kavitatsiya zonasining kengayib borishiga olib keladi.

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

Ko'rilayotgan qurilmada (7.13 - rasm) sarfini o'lchash bo'lib, u sarf o'zgarishining katta diapazonlarida $\frac{Q_{max}}{Q_{min}} \geq 10$ uni boshqarishga yordam beradi. Bu holda kavitatsiya natijasida gidrosistema qismlarining buzilishi holi bo'lmaydi.

7.10 Mahalliy qarshiliklarning o'zaro ta'siri

Gidravlik sistemalarda umumiy qarshilik uning qismlaridagi ayrim qarshiliklarning yig'indisidan iborat. Masalan, quvurda bir qancha mahalliy qarshiliklar (tirsak, jo'mrak, diafragma, eshikcha va h.k.) bo'lib, ularni

xarakterlovchi mahalliy qarshilik koeffitsiyentlari $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \dots, \zeta_n$ bo'lsin. Agar quvurning uzunligi z , diametri D va sarfi Q bo'lsa, undagi ishqalanish qarshiligi

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

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 oqimga tegishli taqsimlanishi vujudga kelishi kerak. Shuningdek, biror mahalliy qarshilikdan o'tayotganda buzilgan laminar oqimning yana turg'unlashuvi biror masofadan o'tganidan so'ng sodir bo'ladi.

Masalan, quvurlarning burilishlaridagi tartibning buzilishi quvur diametridan 50 marta katta masofada ham saqlanadi.

Turg'unlashuv masofasi l_{st} quyidagi formula bo'yicha hisoblanishi mumkin:

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

bu yerda: D - quvurning ichki diametri

Quvurning kirish qismi juda yaxshi silliqlanganda laminar oqimning turg'unlashuv qismi $0,29 ReD$ gacha kamayadi.

Amalda mahalliy qarshiliklarni bir-biridan to'g'ri chiziqli bo'lak bilan ajratib, ular orasidagi masofani $l \leq (10 \div 20)D$ ga tenglashtirishga harakat qilinadi.

Odatda, gidrosistemalarda mahalliy qarshiliklar bizning ixtiyorimizga bog'liq bo'lmagan holda turli masofalarga o'rnatilgani uchun ularning o'zaro

ta'sirini hisobga olib bo'lmaydi va mahalliy qarshiliklardagi energiya sarfi taxminiy hisoblanadi. Boshqacha aytganda, mahalliy qarshiliklarning o'zaro ta'siri kichik miqdor sifatida nazarga olinmaydi. Umumiy qarshilik oldida bu kuchlar juda kichik bo'lgani uchun hisoblash natijalariga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi.

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma

Masala: Uzunligi $l=1,5$ km va diametri $d = 250$ mm li quvurda benzin oqib o'tmoqda. Benzinning harorati $t = 20^{\circ}\text{C}$, sarfi $Q = 0,026$ m³/s. Quvurda yo'qolgan dam (napor)ni aniqlang. Agar quvurning diametrini 20% kamaytirsak yo'qolgan dam (napor) miqdori qanchaga o'zgaradi? Quvurning g'adir-budurligi $\Delta=0,2$ mm.

Yechimi: 1. Quvurdagi oqim tezligi:

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

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

Reynolds soni:

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

demak, harakat rejimi turbulent.

U holda gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini Altshul formulasi yordamida aniqlaymiz:

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

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

II. Quvur diametrini 20% ga kamaytirsak:

$$d_1 = 0,8d = 200 \text{ mm}$$

U holda yo'qolgan bosim miqdori:

Demak, quvur diametrini 20% ga kamaytirsak, bosimning kamayishi (yo'qolgan napor) 3,2 marta oshar ekan.

Mustaqil yechishga doir masalalar

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

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

3. Laboratoriya sharoitida po'lat quvurning gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini aniqlash uchun, yangi po'lat quvurda tajribalar o'tkazadilar. Buning uchun uzunligi $l=6$ m, diametri $d = 200$ mm bo'lgan quvurga pezometr ulanib, ma'lum miqdor sarfni o'tkazadilar. Agar suv sarfi $Q = 10$ l/s bo'lib,

pezometrlardagi suyuqliklar sathining farqi $\Delta h = 200$ mm bo'lganda gidravlik ishqalanish koeffitsiyentini aniqlang.

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

7. bo'yicha nazorat savollari

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

8-bo'lim. QUVURLAR GIDRAVLIK HISOBI

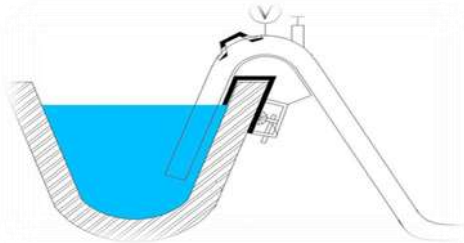
8.1 Quvurlar tasnifi

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.

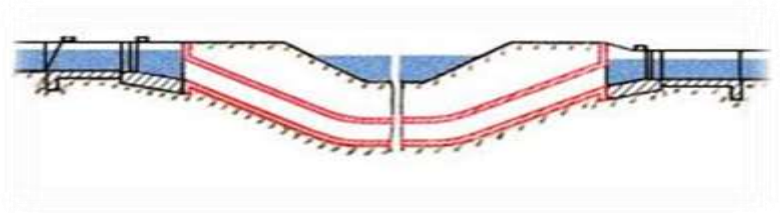
Qisqa quvurlar deb quvurlarni gidravlik hisoblashda naporning yo'qolishi ham uzunlik bo'yicha va ham mahalliy qarshiliklarda inobatga olingan quvurlarga aytiladi.

Bunday quvurlarga sifon, dyuker, nasosning suruvchi quvuri, mashina va mexanizmlarning moy uzatish quvurlari, gidrouzatmalardagi tutashtiruvchi quvurlar va h.k. misol bo'lishi mumkin.

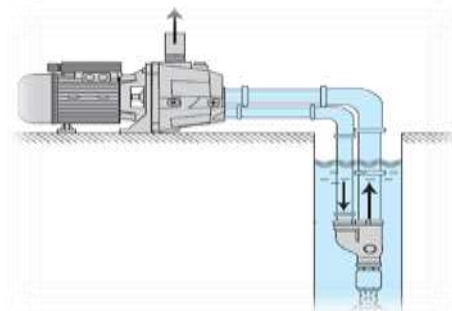
$$h_f = \sum_{i=1}^n h_l + \sum_{i=1}^n h_m$$



Sifon



Dyuker



Nasosning so'ruvchi quvuri



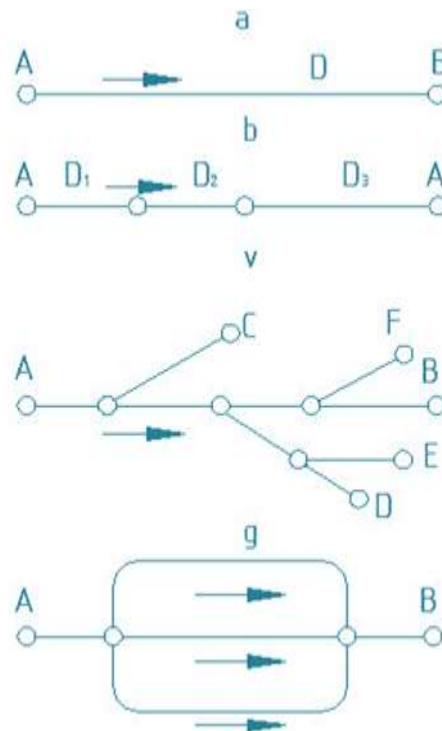
Boshqa qisqa quvurlar tizimi

Uzun quvurlar deb quvurlarni gidravlik hisoblashda naporning yo'qolishi faqat uzunlik bo'yicha inobatga olingan quvurlarga aytiladi. Bunday quvurlarda mahalliy qarshiliklarda yuqogan napor miqdori umumiy yo'qolgan napordan 10% dan kamni tashkil qiladi. Uzun quvurlarga suv ta'minoti, neft quvurlari, nasos qurilmasining haydovchi quvurlari va h.k. misol bo'lishi mumkin.

$$h_f = \sum_{i=1}^n h_l$$

Quvurlar ishlash sxemasiga qarab ikki turga bo'linadi *oddiy quvurlar* (8.1 - rasm, a, b); *murakkab quvurlar* (8.1 - rasm v, g). Oddiy quvurlar hech qanday tarmoqlarga ega bo'lmagan quvurlardir. Murakkab quvurlar esa bir necha tarmoqlarga ega bo'lgan quvurlardir. Bundan tashqari, quvurlar tupik va yopiq quvurlarga ajraladi. Bir yo'nalishda suyuqlik oqadigan quvurlar tupik quvurlar

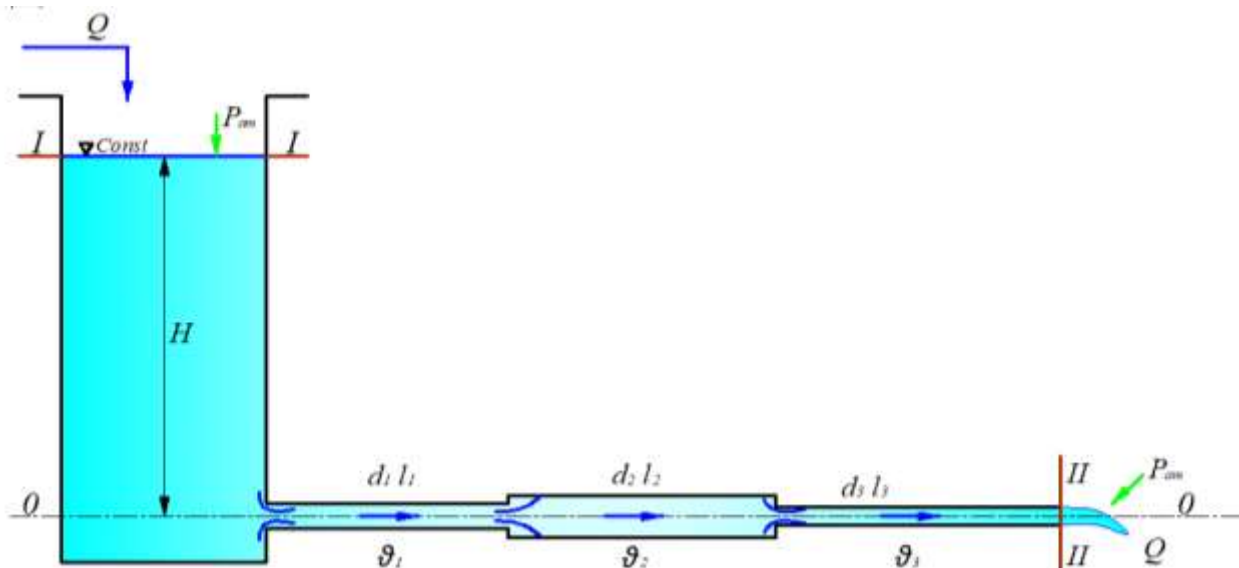
deyiladi. Suyuqlikning biror va undan ortiq yoʻnalish boʻyicha berish mumkin boʻlgan quvurlar yopiq quvurlar deyiladi. Yopiq quvurlar ishonchli boʻlib, uning ayrim qismlari buzilib, tamirlash davomida ham suv taʼminoti toʻxtamaydi.



8.1 - rasm. Quvurlarni tasniflashga doir chizma

Yuqorida aytilganlardan tashqari tranzit sarfli quvurlar ham mavjud boʻlib, ularda suyuqlik yoʻl boʻyicha oʻzgarmay qolishi yoki tekis taqsimlanib borishi mumkin.

8.2 Qisqa quvurlar gidravlik hisobi



8.2-rasm. Ketma ket ulangan quvurlar

Qisqa quvurlarni gidravlik hisoblash tartibi

1. Masalani hisoblashda D. Bernulli tenglamasidan foydalanadi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \vartheta_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \vartheta_2^2}{2g} + h_f \quad (8.1)$$

2. D.Bernulli tenglamasini ikkita kesim uchun yozamiz. Buning uchun (I-I) va (II-II) kesimlarni tanlab olamiz.
3. Taqqoslash tekisligini (O-O) o'tkazamiz. Taqqoslash tekisligini (II-II) kesimning og'irlik markazidan o'tkazamiz.
4. Bernulli tenglamasini hadlarini aniqlaymiz (8.2-rasm):

I-I kesim uchun	II-II kesim uchun
$Z_I = N; p_I = p_{at}; \vartheta_I = 0;$	$Z_{II} = 0; p_{II} = p_{at}; \vartheta_{II} = \vartheta_1;$

5. Aniqlangan hadlarni (1) tenglamaga qo'yamiz:

$$H + \frac{p_{at}}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha \vartheta_{II}^2}{2g} + h_f \quad (8.2)$$

$$H = \frac{\alpha \vartheta_{II}^2}{2g} + h_f \quad (8.3)$$

6. h_f - kesimlar orasida yo'qolgan naporni aniqlaymiz:

$$h_f = \sum_{i=1}^n h_l + \sum_{i=1}^n h_m \quad (8.4)$$

- a) uzunlik bo'yicha yo'qolgan naporni aniqlaymiz (1-rasm bo'yicha):

$$\sum_{i=1}^n h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} = \frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \cdot \frac{\vartheta_1^2}{2g} + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \cdot \frac{\vartheta_2^2}{2g} + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \cdot \frac{\vartheta_3^2}{2g} \quad (8.5)$$

Uzilmaslik tenglamasidan foydalanib:

$$\omega_1 \vartheta_1 = \omega_2 \vartheta_2 = \omega_3 \vartheta_3$$

$$\vartheta_1 = \frac{\omega_3}{\omega_1} \vartheta_3 \quad \vartheta_2 = \frac{\omega_3}{\omega_2} \vartheta_3$$

$$h_l = \left[\frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \cdot \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \cdot \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \right] \frac{\vartheta_3^2}{2g}$$

yoki umumlashtirib:

$$h_l = \left[\sum_{i=1}^3 \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{\vartheta_3^2}{2g} \quad (8.6)$$

- b) mahalliy qarshilikda yo'qolgan naporni aniqlaymiz (1-rasm bo'yicha):

$$h_m = h_k + h_{kk} + h_{kt} = \xi_k \frac{\vartheta_1^2}{2g} + \xi_{kk} \frac{\vartheta_2^2}{2g} + \xi_{kt} \frac{\vartheta_3^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasidan foydalanib:

$$h_m = \left[\xi_k \cdot \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + \xi_{kk} \cdot \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 + \xi_{kt} \right] \frac{\vartheta_3^2}{2g}$$

yoki umumlashtirib:

$$h_m = \left[\sum_{i=1}^3 \xi_i \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{\vartheta_3^2}{2g}; \quad (8.7)$$

7. (8.6) va (8.7) tenglamani umumlashtirib:

$$h_f = \left[\sum_{i=1}^3 \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^3 \xi_i \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{\vartheta_3^2}{2g}; \quad (8.8)$$

(8.8) ifodani (8.3) ga qo'yib:

$$H = \frac{\vartheta_3^2}{2g} + \left[\sum_{i=1}^3 \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^3 \xi_i \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{\vartheta_3^2}{2g}$$

$$H = \left[1 + \sum_{i=1}^3 \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^3 \xi_i \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 \right] \frac{\vartheta_3^2}{2g} \quad (8.9)$$

8. (8.9) ifodadan tezlikni aniqlaymiz:

$$\vartheta_3 = \varphi \sqrt{2gH} \quad (8.10)$$

bu yerda: φ – tezlik koeffitsienti:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{(1+\xi_s)}} \quad (8.11)$$

bu yerda: ξ_s - sistemaning qarshilik koeffitsienti:

$$\xi_s = \sum_{i=1}^3 \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2 + \sum_{i=1}^3 \xi_i \left(\frac{\omega_3}{\omega_i} \right)^2$$

9. Sarfni aniqlaymiz:

$$Q = \omega \vartheta;$$

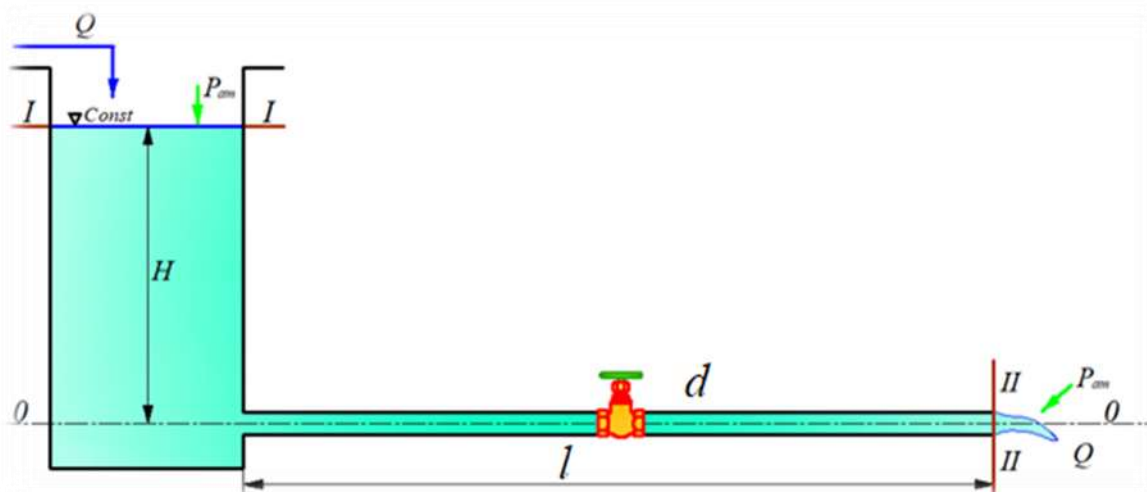
Tezlikni (8.10) formuladan foydalanib:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad (8.12)$$

(8.12) formula qisqa quvurlarni hisoblash formulasi.

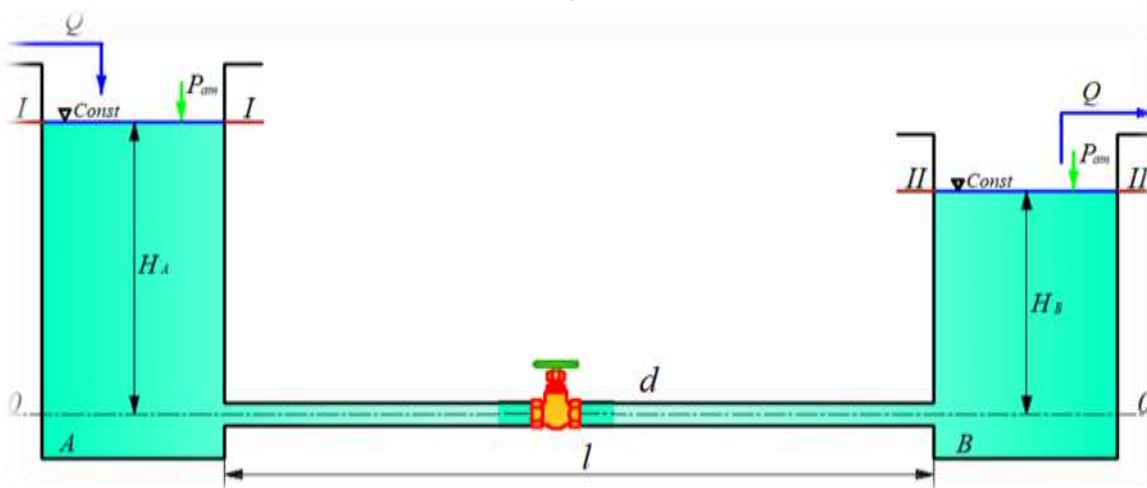
bu yerda: μ - sarf koeffitsienti; $\mu = \varphi$; ω - oqim ko'ndalang kesim yuzasi; H - napor.

8.3 Sarf koeffitsientini aniqlash



8.3-rasm. 1-hususi hol: quvurning diametri bir hil, suyuqlik atmosferaga chiqayotgan bo'lsa:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_s}}$$



8.4-rasm. 2-hususi hol: quvurning diametri bir hil, suyuqlik suyuqlikka (sath ostiga) tushayotgan bo'lsa:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_s}}$$

8.4 Pezometrik (P-P) va napor (E-E) chiziqlarini qurish tartibi

1. Berilgan sxema (8.2-rasm) masshtabda chiziladi. Bu misolda faqat vertikal masshtab kifoya. Quvurlar diametrini sxema shaklida chizish mumkin;
2. Napor chizig'ini quramiz (E-E) :

$$H_E = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g}$$

3. (I-I) kesimdagi to'la napor taqqoslash tekisligi (O-O) va (I-I) kesimlar orasidagi masofa bo'ladi. Qaralayotgan misolda bu masofa (H) ga tengdir.

$$H_E^I = Z_I + \frac{P_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha \vartheta_1^2}{2g} = H = \frac{\alpha \vartheta_2^2}{2g} + h_f \quad Z_I = N; \quad \vartheta_1 = 0; \quad H_E^{II} = \frac{\alpha \vartheta_{II}^2}{2g} + h_f$$

- (II-II) kesimdagi gidrodinamik napor 3-quvurdagi tezlik naporiga tengdir:

$$H_E^{II} = \frac{\alpha \vartheta_3^2}{2g}$$

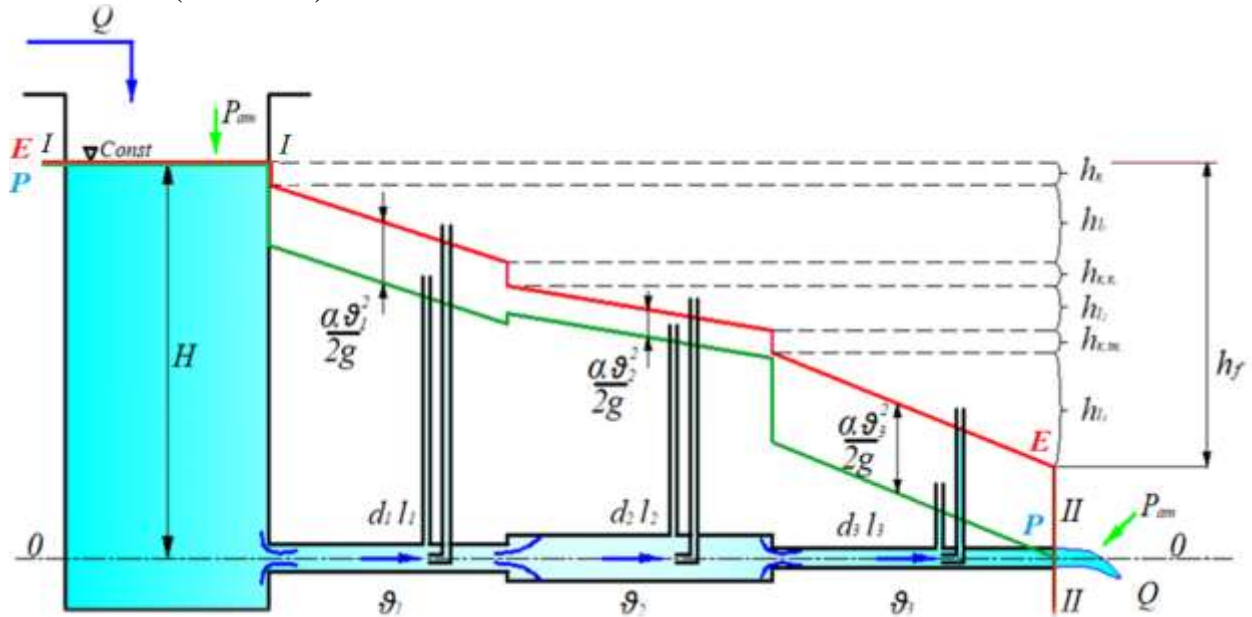
4. Pezometrik chizig'ini quramiz (P-P):

$$H_p = Z + \frac{p}{\gamma}$$

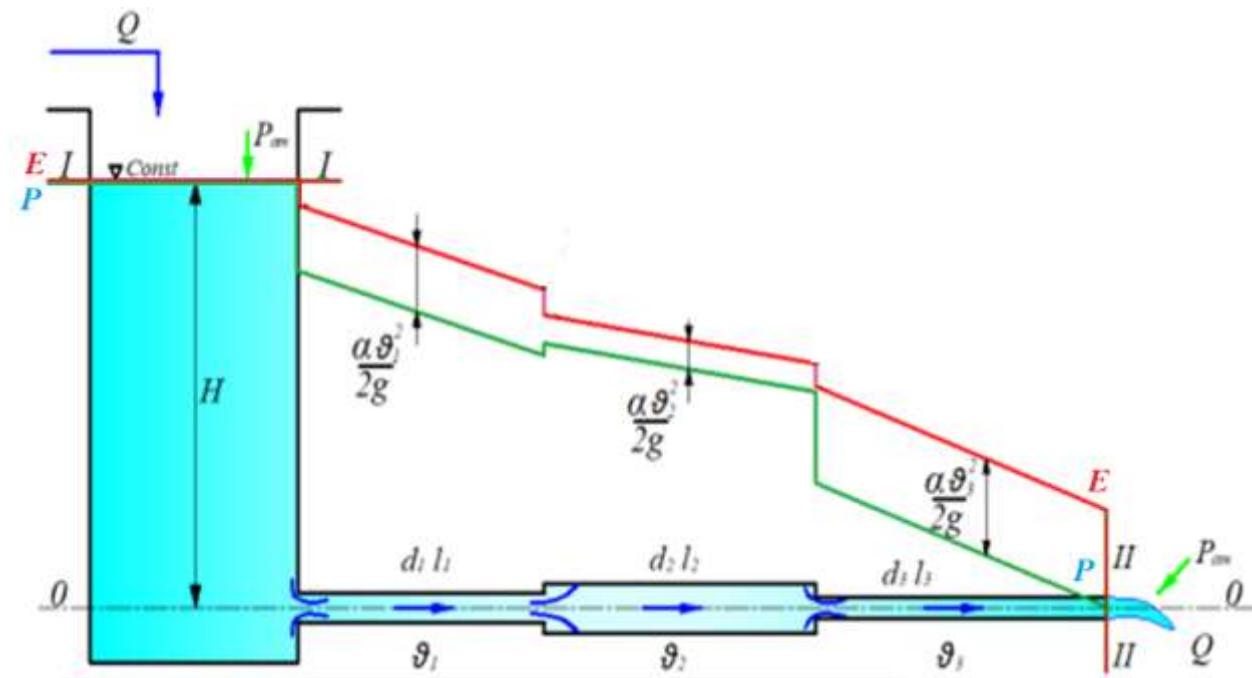
$$H_p = H_E - \frac{\alpha \vartheta^2}{2g}$$

$$H_p^I = Z_1 + \frac{p_{at}}{\gamma} \quad H_p^I = H_E^I \quad H_p^{II} = Z_{II} + \frac{p_{at}}{\gamma} \quad Z_{II} = 0;$$

5. Yuqoridagi formulalardan foydalanib aniqlangan hadlarni chizmada ko'rsatib bormamiz (8.5-rasm).



8.5-rasm. Pezometrik (P-P) va napor (E-E) chiziqlarini qurish



8.6-rasm. Pezometrik (P-P) va napor (E-E) chiziqlarini qurish

8.5 Qisqa quvurlarni hisoblashda uchraydigan asosiy masalalar

1–Masala

Napor, quvur uzunligi, diametri, geometrik o'lchamlari, suyuqlik zichligi, yopishqoqligi, g'adir budurligi berilgan bulib, suv sarfini aniqlash lozim.

$H; d; l; \Delta; \xi$ – berilgan.

$Q = ?$

2–Masala

Sarf, quvur uzunligi, diametri, geometrik o'lchamlari, suyuqlik zichligi, yopishqoqligi, g'adir budurligi berilgan bulib, naporni aniqlash lozim.

$Q; d; l; \Delta; \xi$ – berilgan.

$N = ?$

3–Masala

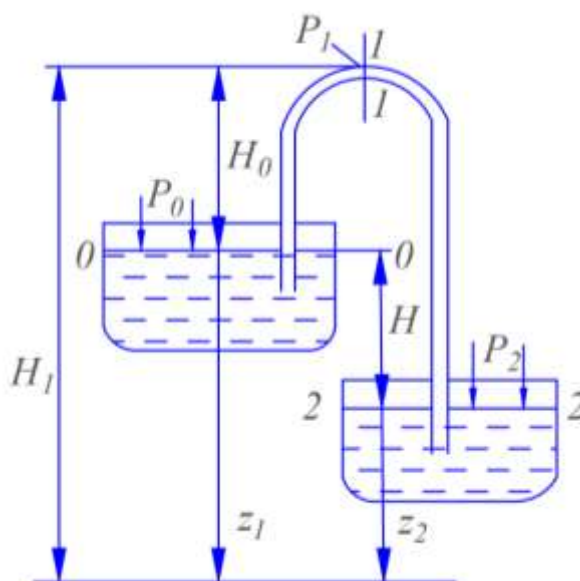
Sarf, quvur uzunligi, napor, geometrik o'lchamlari, suyuqlik zichligi, yopishqoqligi, g'adir budurligi berilgan bulib, diametrni aniqlash lozim.

$Q; H; l; \Delta; \xi$ – berilgan.

$d = ?$

8.6 Sifon, dyuker va nasosning so'ruvchi quvuri gidravlik hisobi

Sifon quvur. Bir qismi suyuqlik bilan ta'minlovchi idishdan yuqorida joylashgan sodda quvur sifon quvur deb ataladi (8.7-rasm). Sifonni sodalashtirib ikki (ta'minlovchi va qabul qiluvchi) idishlarni tutashtiruvchi U ko'rinishdagi quvur sifatida tasvirlash mumkin. Bu holda uning egilgan qismi idishlardagi suyuqlik sathlaridan H balandlikda bo'lib, undagi suyuqlik idishdagi suyuqliklar sathlarining farqi H hisobiga oqib turadi. Shuni aytish keraki, suyuqlik sifonda avval birinchi idish sathidan H balandlikka ko'tarilib, so'ngra ikkinchi idishga tushadi. Bunday quvurning o'ziga xos xususiyati shundaki, unda bosim ko'tariluvchi qismida ham, pastga tushuvchi qismida ham atmosfera bosimidan pastdir. Sifon quvurlardan asosan neft mahsulotlarini sisternalardan quyib olish, suv sig'imlarini bo'shatish, do'nglik yerlarda vodoprovod o'tkazish va hokazolardan foydalaniladi.



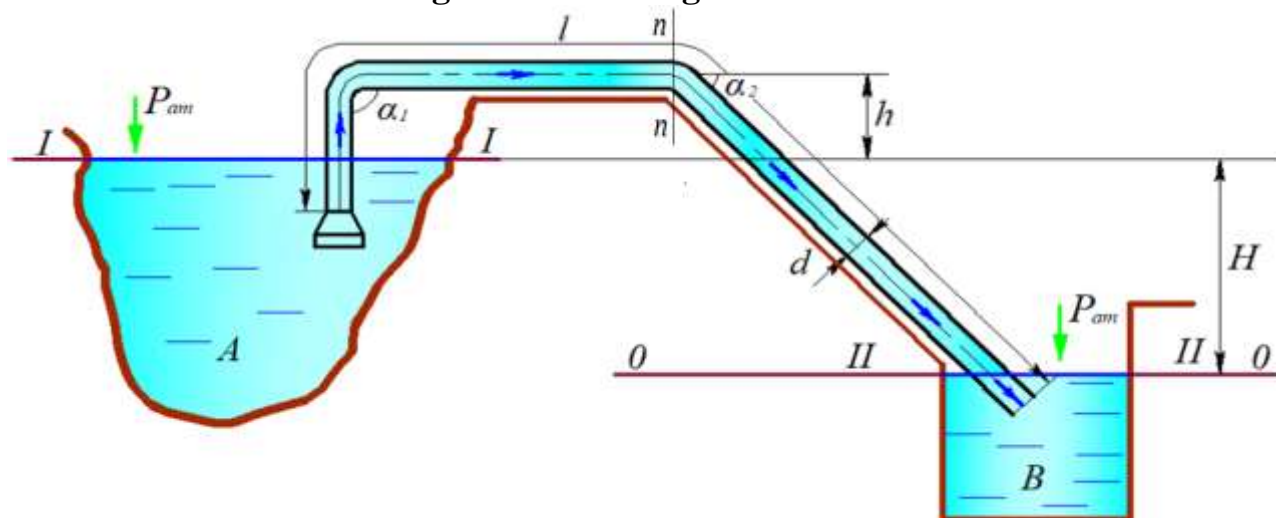
8.7 - rasm. Sifon quvur.

Suv ta'minotida ba'zan maxsus sifonlar ishlatiladi. Sifon ishlay boshlashi uchun avval uni suyuqlik bilan to'ldirish kerak. Sifon sifatida kichik o'lchamli shlanglar ishlatilsa, uni to'ldirish oson bo'lib, bu suyuqlikka botirish yoki pastki uchidan havoni so'rib olish yo'li bilan amalga oshiriladi. Agar sifon mahkamlangan metall quvurdan iborat bo'lsa, uning yuqori nuqtasida havoni so'rib olish uchun maxsus jo'mrak o'rnatiladi.

1. Napor (N), quvur uzunligi (l), diametri (d), quvur materiali (Δ), geometrik o'lchamlari, suyuqlik fizik xossalari (zichligi, yopishqoqligi) berilgan bo'lib, suyuqlik sarfini aniqlash lozim. $Q = ?$

Berilgan:	
A va B suv havzalaridagi suv sathlarining farqi, H (m)	1
Quvur diametri, d (mm)	200
Sifon uzunligi, L (m)	10
Sifon quvurdagi burilish burchaklari, α_1, α_2	90, 60
Sifon quvurning n-n kesimgacha uzunligi, l (m)	3.0
Sifon materiali po'lat, absolyut g'adir budirligi, Δ (mm)	1
Quvurdagi harakat rejimi, kvadrat qarshilik sohasida	$\lambda=f(\Delta)$
Aniqlash kerak: Suv sarfini, $\left(\frac{m^3}{s}\right)$	Q

Sifon gidravlik hisobiga doir masala



8.8-rasm. Sifonning sxematik ko'rinishi

Masalani hisoblash tartibi

1. Sifon orqali uzatilayotgan sarfini hisoblashda, kalta quvurlarda sarfini hisoblash formulasidan foydalanamiz:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gN} \quad (1)$$

bu yerda: μ – sarf koeffitsienti; $\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_s}}$

ξ_s – sistemaning qarshilik koeffitsienti;

$$\xi_s = \frac{\lambda l}{d} + \sum_{i=1}^3 \xi_i$$

λ – gidravlik ishqalanish koeffitsienti.

2. Gidravlik ishqalanish koeffitsientini aniqlaymiz. Oqim harakati kvadrat qarshilik sohasida bo‘lganligi uchun, Shifrinson formulasiidan foydalanamiz:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{1}{200}\right)^{0,25} = 0,029 \quad (2)$$

4. Sarf koeffitsientini (μ) aniqlaymiz:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{d} + \xi_s}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{0,029 * 10}{0,2} + 3,86}} = 0,43 \quad (4)$$

5. Harakat kesimi yuzasini aniqlaymiz:

$$\omega = \frac{pd^2}{4} = \frac{3,14 * (0,2)^2}{4} = 0,0314 \text{ m}^2 \quad (5)$$

6. (4) va (5) tenglama natijalarini (1) formulaga qo‘yib sarfni aniqlaymiz:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gN} = 0,43 * 0,0314 * \sqrt{2 * 9,81 * 1} = 0,059 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 59 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Javob: Sifondagi suv sarfi: $Q = 59 \text{ l/s}$

Sifon ishlashi uchun zaruriy shart

Miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$h = h_{vak} - (1 + \xi_t) \frac{\vartheta^2}{2g}$$

h_{vak} - sifondagi ruxsat etilgan vakuum miqdori, suv uchun bu miqdor 7 m. suv ustunigacha bo‘lishi mumkin; ξ_t - sifonning h qismigacha bulgan qarshilik koeffitsienti:

$$\xi_t = \frac{\lambda l}{d} + \xi_p + \xi_b^1 = \frac{0,029 * 3}{0,2} + 2 + 1 = 3,435$$

Mazkur masala uchun:

$$h = h_{vak} - (1 + \xi_t) \frac{\vartheta^2}{2g} = 7 - (1 + 3,435) \frac{1,84^2}{2g} = 6,23 \text{ m}$$

ϑ - sifondagi oqim tezligi:

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,059}{0,0314} = 1,84 \text{ m/s}$$

Sifon parametrlarini hisoblash ishlari uchun kafedramiz professor-o‘qituvchilari tomonidan dasturiy taminot ishlab chiqilgan.

Сифон кувурнинг гидравлик ҳисоби

Diametrlarni kiritish

d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
0,1	0,2	0,3	0,35	0,37	0,378	0,4

$Q=$ 0,15	м ³ /с	$\Delta h=$ 0,002	м	$\zeta_{\text{сиф}}=$ 0,5
$Z=$ 1	м	$d/2R=$ 0,7		$\zeta_{\text{сиф}}=$ 1
$L=$ 40	м	$\zeta_{\text{сиф}}=$ 2		$\zeta_{\text{сиф}}=$ 2

d	μ	λ	$\zeta_{\text{сиф}}$	μ	Q
0,1	0,008	0,0414	2417027	0,203	0,007
0,2	0,031	0,0348	1458963	0,262	0,036
0,3	0,071	0,0314	1181453	0,291	0,091
0,35	0,096	0,0302	1128803	0,300	0,128
0,37	0,107	0,0296	1094809	0,304	0,145
0,378	0,112	0,0293	1078301	0,305	0,151
0,4	0,128	0,0291	1054668	0,308	0,171

Сифон гидравлик ҳисоби

File:///C:/Users/koor/AppData/Local/Temp/Rar\$EXa0450/sifon/sifon.html

$Q=$ 0,15 м³/с $\Delta h=$ 0,002 м $\zeta_{\text{сиф}}=$ 0,5

$Z=$ 1 м $d/2R=$ 0,7 $\zeta_{\text{сиф}}=$ 1

$L=$ 40 м $\zeta_{\text{сиф}}=$ 2 $\zeta_{\text{сиф}}=$ 2

d	μ	λ	$\zeta_{\text{сиф}}$	μ	Q
0,1	0,008	0,0414	2417027	0,203	0,007
0,2	0,031	0,0348	1458963	0,262	0,036
0,3	0,071	0,0314	1181453	0,291	0,091
0,35	0,096	0,0302	1128803	0,300	0,128
0,37	0,107	0,0296	1094809	0,304	0,145
0,378	0,112	0,0293	1078301	0,305	0,151
0,4	0,128	0,0291	1054668	0,308	0,171

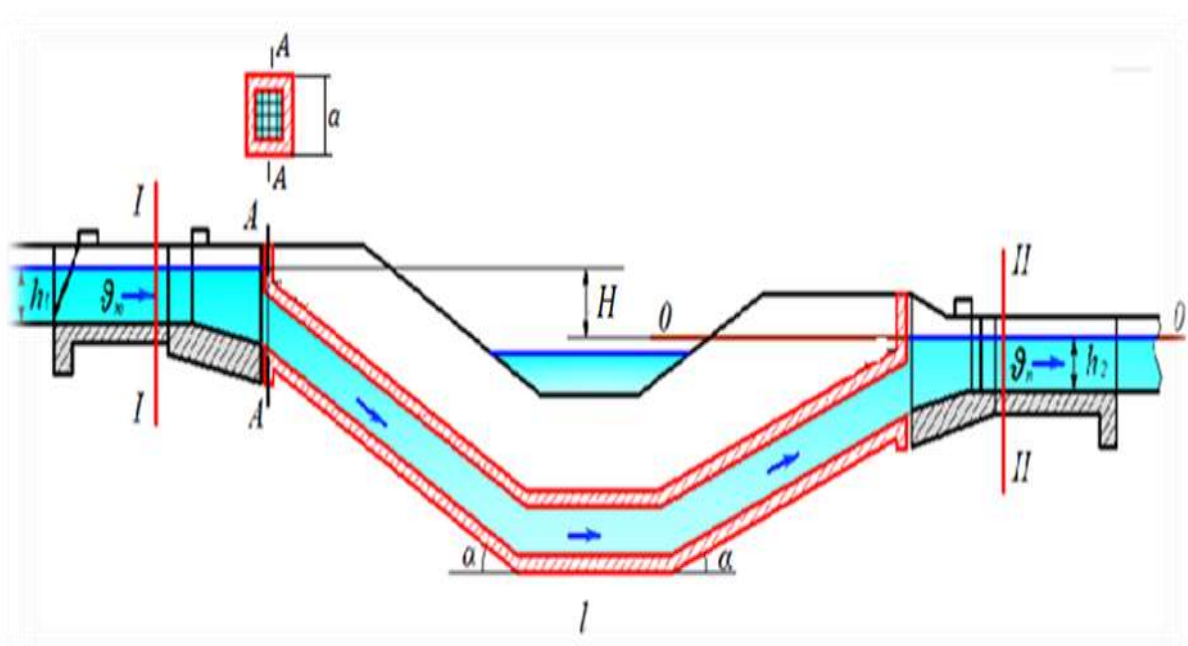
$d = 0,378$
 $Q = 0,151$

2. Dyukerning gidravlik hisobi

Parkent kanalidagi dyukerning gidravlik hisobi:

Sarf (Q), quvur uzunligi (l), diametri (d), quvur materiali (Δ), geometrik o'lchamlari, suyuqlik fizik xossalari (zichligi, yopishqoqligi) berilgan bulib, naporni aniqlash lozim. $H=?$

Berilgan: Parkent kanalidagi dyukerining bitta quvuri uchun	
Suv sarfi, $Q \left(\frac{m^3}{s} \right)$	7
Kesim yuzasi kvadrat shaklida, tomoni, a (m)	2
Yuqori b'efdagi oqim tezligi, v_{yu} (m/s)	1,1
Pastki b'efdagi oqim tezligi, v_p (m/s)	1,3
Dyuker uzunligi, L (m)	100
Quvurning burilish burchaklari, α	60°
Quvur materiali: beton (absolyut g'adir budirligi Δ , mm)	2
Suv harorati, $^\circ C$	15°
Aniqlash kerak: Yuqori va pastki b'eflardagi suv sathlarining farqi:	H



8.9-rasm. Dyukerning sxematik ko'rinishi

Masalani hisoblash tartibi

1. Masalani hisoblashda D. Bernulli tenglamasidan foydalanadi:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f \quad (1)$$

2. D. Bernulli tenglamasini ikkita kesim uchun yozamiz. Buning uchun (I-I) va (II-II) kesimlarni tanlab olamiz;

3. Taqqoslash tekisligini (O-O) o'tkazamiz. Taqqoslash tekisligini pastki kanal suv sathidan o'tkazamiz;

4. Bernulli tenglamasini hadlarini aniqlaymiz (8.9-rasm):

I-I kesim uchun

$$Z_I = N; \quad p_I = p_a; \quad v_I = v_{yu};$$

II-II kesim uchun

$$Z_{II} = 0; \quad p_{II} = p_a; \quad v_{II} = v_p;$$

5. Aniqlangan hadlarni (1) tenglamaga qo'yamiz:

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha v_{yu}^2}{2g} = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha v_p^2}{2g} + h_f \quad (2)$$

$$H = \frac{\alpha v_p^2}{2g} - \frac{\alpha v_{yu}^2}{2g} + h_f \quad (3)$$

bu yerda: α - Kariolis koeffitsienti, $\alpha = 1$

6. h_f - kesimlar orasida yo'qolgan naporni aniqlaymiz:

$$h_f = h_l + \sum_{i=1}^n h_m \quad (4)$$

7. Uzunlik bo'yicha yo'qolgan naporni Darsi-Veysbax formulasidan aniqlaymiz (1-rasm bo'yicha):

$$h_l = \frac{\lambda l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

(5) formuladagi parametrlarni aniqlaymiz:

a) Dyukerdagi oqim harakat kesim yuzasini va o'rtacha tezligini aniqlaymiz:

$$\omega = a^2 = 2^2 = 4 \text{ m}^2 \quad v = \frac{Q}{\omega} = \frac{7}{4} = 1,75 \text{ m/s} \quad (6)$$

b) Oqim ho'llangan perimetri va gidravlik radiusini aniqlaymiz:

$$\chi = 4a = 4 \cdot 2 = 8 \text{ m} \quad R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ m} \quad (7)$$

v) Gidravlik ishqalanish koeffitsientini λ aniqlaymiz:

Reynolds sonini aniqlaymiz:

$$Re = \frac{vR}{\nu_{150}} = \frac{1,75 \cdot 4 \cdot 50}{0,0124} = 2822580 \quad (8)$$

Nisbiy g'adir-budirlikni aniqlaymiz:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{4R} = \frac{2}{4 \cdot 500} = 0,001 \quad (9)$$

Qarshilik sohasini aniqlaymiz:

$$\frac{10}{\bar{\Delta}} = \frac{10}{0,001} = 10000 \quad \frac{560}{\bar{\Delta}} = \frac{560}{0,001} = 560000$$

$Re = 2822580 > 560000$ - kvadrat qarshilik sohasi: gidravlik ishqalanish koeffitsientini Shifrinson formulasi bo'yicha aniqlaymiz:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{4R} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{2}{4 \cdot 500} \right)^{0,25} = 0,019$$

Aniqlangan hadlarni (5) ifodaga qo'yib uzunlik bo'yicha yo'qolgan naporni aniqlaymiz:

$$h_1 = \frac{\lambda l}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{0,019 \cdot 100}{4 \cdot 0,5} \cdot \frac{1,75^2}{2 \cdot 9,81} = 0,15 \text{ m}$$

8. Mahalliy qarshilikda yo'qolgan naporni Veysbax formulasidan aniqlaymiz (1-rasm bo'yicha):

$$\sum_{i=1}^4 h_m = h_p + 2h_b + h_{ch} = \left(\xi_p \frac{v^2}{2g} + 2\xi_b \frac{v^2}{2g} + \xi_{ch} \frac{v^2}{2g} \right) (\xi_s + 2\xi_b + \xi_{ch}) \frac{v^2}{2g}$$

$$= (5 + 2 \cdot 1 + 0,07) \frac{1,75^2}{2 \cdot 9,81} = 1,1 \text{ m}$$

bu yerda:

ξ_p – panjaradagi mahalliy qarshilik koeffitsienti,

ξ_b – quvurning burilish qismidagi mahalliy qarshilik koeffitsienti;

ξ_{ch} – quvurning chiqish qismidagi mahalliy qarshilik koeffitsienti;

Mahalliy qarshilik koeffitsientlarining qiymati maxsus adabiyotlardan yoki www.gidravlika-obi-life.zn.uz “Gidravlika va gidroinformatika” kafedrasida saytidan olish mumkin:

$$\xi_p = 5 \quad \xi_b = 1 \quad \xi_{ch} = \left(1 - \frac{v_p}{v}\right)^2 = \left(1 - \frac{1,3}{1,75}\right)^2 = 0,07$$

9. (9) va (10) tenglamalarni (4) formulaga qo'yib kesimlar orasida yo'qolgan naporni aniqlaymiz:

$$h_f = h_1 + \sum_{i=1}^n h_m = 0,15 + 1,1 = 1,25 \text{ m} \quad (10)$$

10. (11) tenglamani (3) formulaga qo'yib H masofani aniqlaymiz:

$$H = \frac{\alpha v_p^2}{2g} - \frac{\alpha v_{yu}^2}{2g} + h_f = \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} - \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} + 1,25 = 1,27 \text{ m}$$

Javob: H=1,27 m

Agar suv sarfi 1,5 yoki 2 marta oshsa, H qanchaga o'zgaradi?

$$Q=10,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad H=2,48 \text{ m}$$

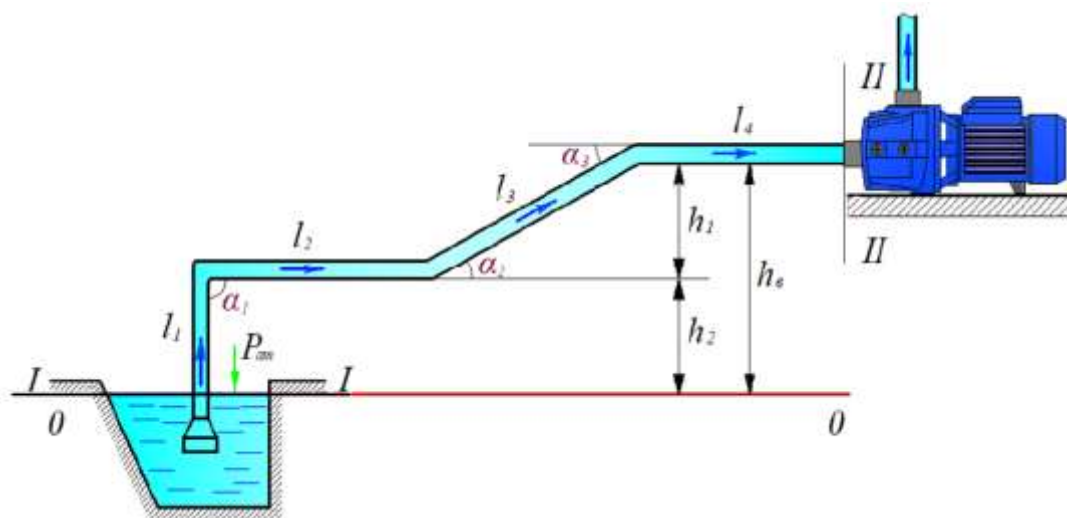
$$Q=14 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad H=5 \text{ m}$$

3. Nasosning so'ruvchi quvurini gidravlik hisobi

Sarf (Q), napor (H), quvur uzunligi (l), diametri (d), quvur materiali (Δ), geometrik o'lchamlari, suyuqlik fizik xossalari (zichligi, yopishqoqligi) berilgan bulib, quvur diametrini aniqlash lozim d=?

Berilgan:	
Markazdan qochma nasos	K-200-150-400.
Uzatadigan suv sarfi, $Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{soat}} \right), \left(\frac{\text{l}}{\text{s}} \right)$	400, (111l/s)
Ruxsat etilgan kavitatsion zaxira, h_{vak} (m suv ustuni)	4
Quvur uzunligi, L (m)	41

Nasosning o'rnatish balandligi, h_v (m)	2
Quvurning burilish burchaklari, α_1, α_2 va α_3	90, 45
Quvur materiali: cho'yan (absolyut g'adir budirligi, Δ , mm)	1,2
Suv harorati, $^{\circ}\text{S}$	15 $^{\circ}$
Aniqlash kerak: Quvur diametrini:	d



8.10-rasm. Nasosning sxematik ko'rinishi

Nasosning so'ruvchi quvurini gidravlik hisoblash tartibi

1. Masalani hisoblashda D. Bernulli tenglamasidan foydalanadi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha \theta_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha \theta_2^2}{2g} + h_f \quad (1)$$

2. Buning uchun (I-I) va (II-II) kesimlarni tanlab olamiz;

3. Taqqoslash tekisligini (O-O) manbadagi suv sathidan o'tkazamiz. Taqqoslash tekisligini (I-I) kesim bilan mos uning og'irlik markazidan o'tkazamiz;

4. Bernulli tenglamasini hadlarini aniqlaymiz (8.10-rasm):

I-I kesim uchun

$$z_I = 0;$$

$$p_I = p_a;$$

$$v_I = 0;$$

II-II kesim uchun

$$z_{II} = h_c;$$

$$p_{II} = p_H;$$

$$v_{II} = v.$$

5. Aniqlangan hadlarni (1) tenglamaga qo'yamiz:

$$0 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = h_b + \frac{p_H}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} + h_f \quad \frac{p_a}{\gamma} - h_b - \frac{p_H}{\gamma} = \frac{\alpha v^2}{2g} + h_f \quad (2)$$

bu yerda: h_f - sistemada yo'qolgan solishtirma energiya (napor):

$$h_f = \xi_s \frac{v^2}{2g} \quad \xi_s = \frac{\lambda l}{d} + \sum_{i=1}^n \xi_i \quad (3)$$

6. (3) ifodani (2) ga qo'yib:

$$\frac{p_a}{\gamma} - h_B - \frac{p_H}{\gamma} = (1 + \xi_c) \frac{\alpha \theta^2}{2g} \quad (4)$$

bu yerda: $\frac{p_H}{\gamma} = h_{\text{vak}} = 4 \text{ m}$ $h_B = 2 \text{ m}$

7. Oxirgi (4) ifodani quyidagicha yozamiz:

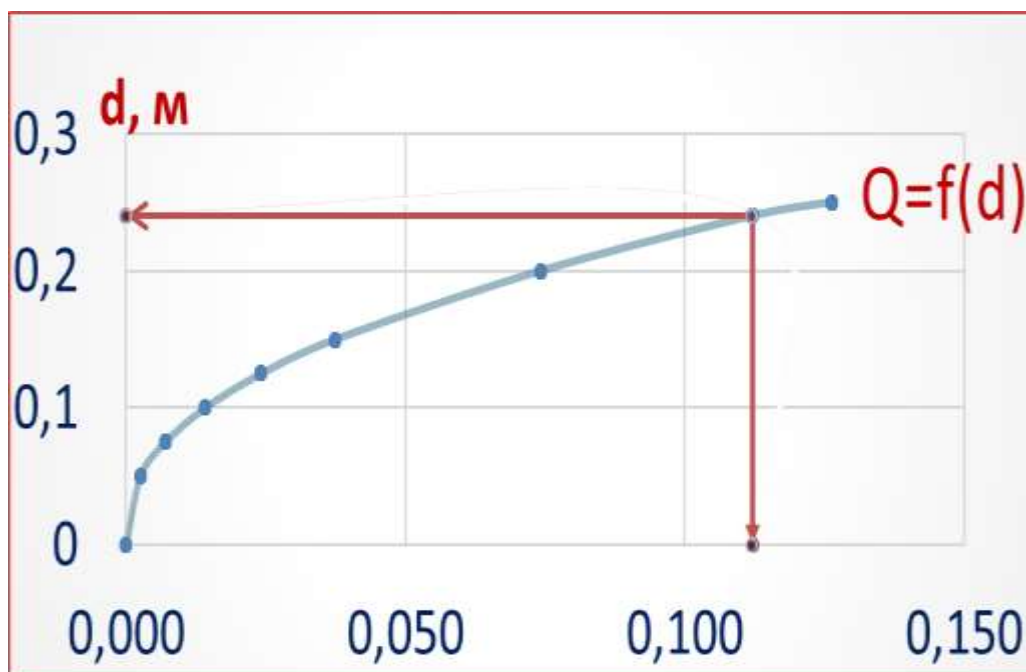
$$Q = \mu \omega \sqrt{\left(\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_H}{\gamma} - h_B\right) \cdot 2g}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_s}} \quad (5)$$

8. Masala tanlash usulida bajariladi. Hisoblash natijalarini jadvalda keltiramiz:

d, m	ω, m^2	$\vartheta, \text{m/c}$	Re	λ	ξ_l	ξ_m	ξ_s	μ	Q
0,1	0,00785	14,140127	1297259	0,036407	15,291	8,83	24,121	0,19952	0,014
0,125	0,01227	9,0496815	1037808	0,034432	11,5691	8,33	19,8991	0,21874	0,024
0,15	0,01766	6,2845011	864840	0,032898	9,21135	7,83	17,0413	0,23543	0,037
0,2	0,0314	3,5350318	648630	0,030615	6,42909	7,03	13,4591	0,26298	0,074
0,225	0,03974	2,7931116	576560	0,029726	5,54893	7,03	12,5789	0,27137	0,097
0,25	0,04906	2,2624204	518904	0,028954	4,86421	6,33	11,1942	0,28637	0,126

9. Jadval asosida $Q=f(d)$ grafik chiziladi. Kerakli diametr topiladi



Standart diametr tanlanadi: d=250 mm

Nasosning so'ruvchi quvurini gidravlik hisobi uchun kafedramiz professor-o'qituvchilari tomonidan dasturiy taminot ishlab chiqilgan.

Masalani elektron hisoblash

Nasos so'rish quvurining eng qulay diametrini hisoblash

$Q = 67$ m³/s $h_1 = 2,35$ m $\nu = 0,0109$ m²/s

$h_0 = 4,7$ m $h_2 = 2,35$ m $P = 1$ kg/m³

$P_k = 0,4$ kg/m² $\Delta = 1,7$ mm $\rho = 1000$ kg/m³

$L = 42$ m $t = 17$ °C $\gamma = 0,810$ kg/m³

Qaytara nechta to'xtaklar iborat?

$l_1 = 10,5$ m $\alpha_1 = 45^\circ$ $\beta = 5,81$ kg/m³

$l_2 = 10,5$ m $\alpha_2 = 45^\circ$

$l_3 = 10,5$ m $\alpha_3 = 90^\circ$

Hisoblash

d, M	$u, m/s$	$\nu, m^2/s$	Re	λ	ξ	ξ_{sum}	μ	$Q, m^3/s$

$Q = 67$ m³/s $h_1 = 2,35$ m $\nu = 0,0109$ m²/s

$h_0 = 4,7$ m $h_2 = 2,35$ m $P = 1$ kg/m³

$P_k = 0,4$ kg/m² $\Delta = 1,7$ mm $\rho = 1000$ kg/m³

$L = 42$ m $t = 17$ °C $\gamma = 0,810$ kg/m³

Qaytara nechta to'xtaklar iborat?

$l_1 = 10,5$ m $\alpha_1 = 45^\circ$ $\beta = 5,81$ kg/m³

$l_2 = 10,5$ m $\alpha_2 = 45^\circ$

$l_3 = 10,5$ m $\alpha_3 = 90^\circ$

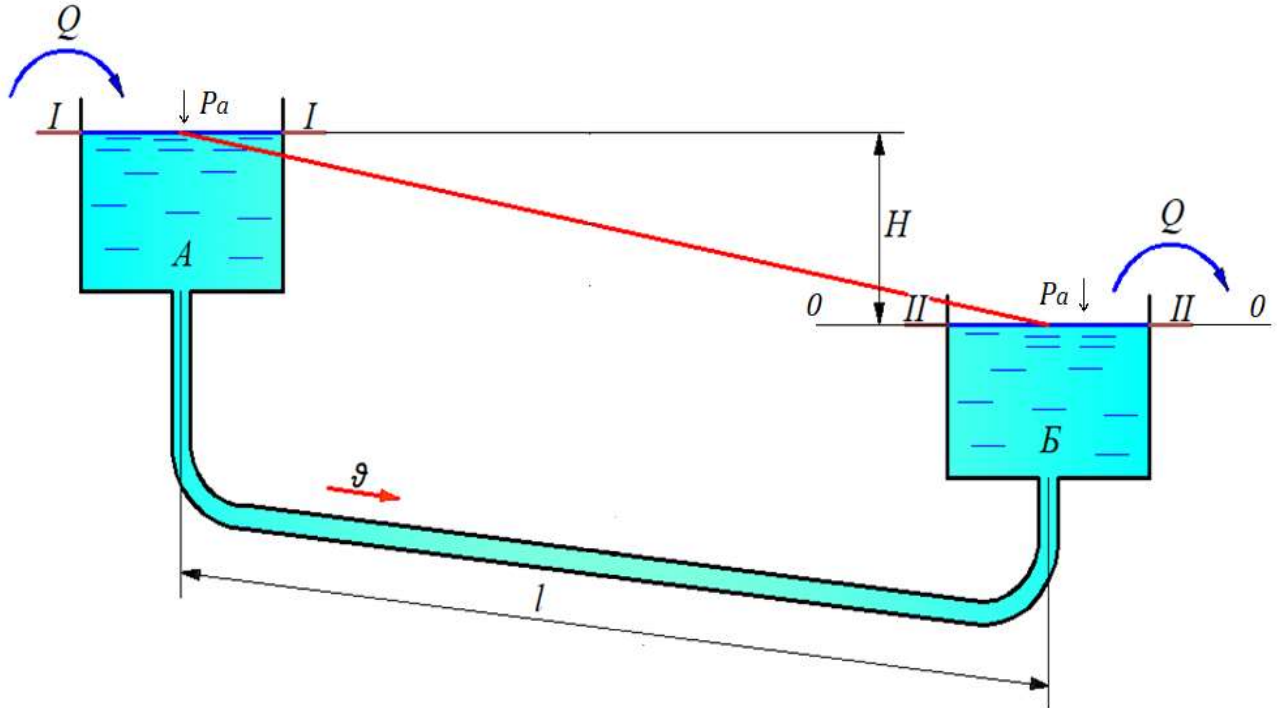
Hisoblash

d, M	$u, m/s$	$\nu, m^2/s$	Re	λ	ξ	ξ_{sum}	μ	$Q, m^3/s$

9-bo'lim. UZUN QUVURLARNING GIDRAVLIK HISOBI

9.1 Uzun quvurlarni hisoblash tartibi

Uzun quvurlar deb quvurlarni gidravlik hisoblashda naporning yo'qolishi faqat uzunlik bo'yicha inobatga olingan quvurlarga aytiladi. Bunday quvurlarda mahalliy qarshiliklarda yo'qolgan napor miqdori umumiy yo'qolgan napordan 10% dan kamni tashkil qiladi. Uzun quvurlarga suv ta'minoti, neft quvurlari, nasos qurilmasining haydovchi quvurlari va h.k. misol bo'lishi mumkin.



9.1-rasm. Uzun quvurlar tizimi

$$\Omega_A, \Omega_B \gg \omega \quad \vartheta_I = 0; \quad \vartheta_{II} = 0;$$

Ω_A, Ω_B - A va B rezervuarlardagi suyuqlik sathlarining yuzasi;

$$h_f = h_1 \quad h_m = 0, 1h_1$$

Bernulli tenglamasidagi hadlar (9.1-rasm):

I-I kesim uchun

$$Z_I = N; \quad p_I = p_a; \quad \vartheta_I = 0;$$

II-II kesim uchun

$$Z_{II} = 0; \quad p_{II} = p_a; \quad \vartheta_{II} = 0;$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

Aniqlangan hadlarni D.Bernulli tenglamasiga qo'yib:

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 + h_1 \quad (9.1)$$

Suyuqlik sathlarining farqi yo'qolgan solishtirma energiyaga teng:

$$H = h_1 \quad (9.2)$$

Darsi-Veysbax formulasi:

$$h_1 = \frac{\lambda \cdot l}{d} \cdot \frac{\vartheta^2}{2g}; \quad \vartheta = \frac{Q}{\omega} \quad H = \frac{\lambda}{2gd\omega^2} Q^2 l \quad (9.3)$$

bu yerda:

$A = \frac{\lambda}{2gd\omega^2}$ - quvurning solishtirma qarshiligi;

$$H = AQ^2 l \quad (9.4)$$

(9.4) ifoda uzun quvurlarni hisoblash formulasi.

Quvurning solishtirma qarshiligi:

$$A = \frac{\lambda}{2gd\omega^2}$$

$$\omega = \frac{pd^2}{4} = 0,785d^2; \quad g = 9,81 \frac{m}{s^2}; \quad A = 0,0649 \frac{\lambda}{d^5} \quad (9.5)$$

$$\lambda = f(Re; \bar{\Delta}) \quad \bar{\Delta} = \frac{d}{\Delta}$$

Turbulent harakat rejimida A. Altshul formulasi:

$$\Lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{68}{Re} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,11 \bar{\Delta}^{\frac{1}{4}} \left(1 + \frac{68}{\bar{\Delta} Re} \right)^{\frac{1}{4}} = \lambda_{kv} k_v \quad (9.6)$$

$\lambda_{kv} = 0,11 \bar{\Delta}^{\frac{1}{4}}$ - Shifrinson formulasi;

$$k_v = \left(1 + \frac{68}{\bar{\Delta} Re} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (9.7)$$

Quvurning solishtirma qarshiligi:

$$A_{kv} = \frac{\lambda_{kv}}{2gd\omega^2} = 0,0827 \frac{\lambda_{kv}}{d^5}$$

$$A = \frac{\lambda}{2gd\omega^2} = \frac{\lambda_{kv} k_v}{2gd\omega^2} = k_v A_{kv} \quad (9.8)$$

(9.8) formulani (9.4) formulaga qo'yib, quyidagi ifodaga kelamiz:

$$H = A Q^2 l; \quad H = k_v A_{kv} Q^2 l \quad (9.9)$$

(9.8) formulani sarf moduli K orqali ifodalasak, quyidagi ifodaga kelamiz:

$$H = k_v A_{kv} Q^2 l \quad H = k_v \frac{Q^2}{K_{kv}^2} l \quad H = \frac{Q^2}{K^2} l \quad (9.10)$$

$$\text{Agar: } A_{kv} = \frac{1}{K_{kv}^2}; \quad K = \sqrt{\frac{K_{kv}^2}{k_v}}; \quad (9.11)$$

K_{kv} - sarf moduli, kvadrat qarshilik sohasida;

A_{kv}, K_{kv} - qiymatlari F. Shevelev jadvalidan olinadi.

Cho'yan va po'lat quvurlarda napor yo'qolishini hisoblash uchun F.A. Shevelev formulalari

$\vartheta \geq 1,2m/s$ bo'lsa, kvadrat qarshilik sohasiga to'g'ri keladi va $k_v = 1$ bo'ladi.

$$J = 0,00107 \frac{g^2}{d^{1,3}} \quad (9.12)$$

bu yerda: J - gidravlik nishablik; $J = \frac{h_l}{l}$;

$\vartheta < 1,2m/s$ bo'lsa, k_v ning qiymati amaliyotda quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$k_v = 0,852 \left(1 + \frac{0,867}{g} \right)^{0,3} \quad J = 0,000912 \frac{g^2}{d^{1,3}} \left(1 + \frac{0,867}{g} \right)^{0,3} \quad (9.13)$$

F.A. Shevelev formulalari

Asbestosement quvurlar uchun:

$$A = \frac{0,00091}{d^{5,19}} \left(1 + \frac{3,51}{g} \right)^{0,19} \quad (9.14)$$

$$\vartheta = 1 \text{ bo'lganda: } A_{kv} = 0,001212 \frac{1}{d^{5,19}}$$

Plastmassa quvurlar uchun:

$$A = \frac{0,0011}{g^{0,226} d^{5,226}}; \quad (9.15)$$

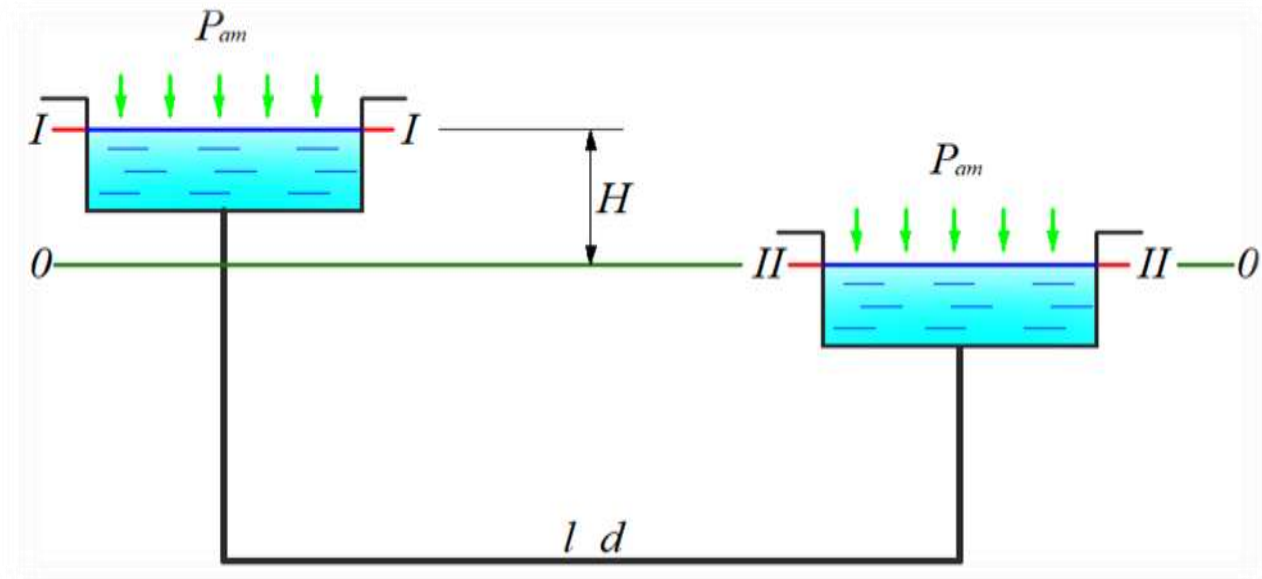
$$\vartheta = 1 \text{ bo'lganda: } A_{kv} = 0,0011 \frac{1}{d^{5,226}}$$

Temir beton quvurlar uchun:

$$A = \frac{0,001751}{9^{0,15} d^{5,19}} \quad (9.16)$$

$$\vartheta = 1 \text{ bo'lganda: } A_{kv} = \frac{0,001751}{d^{5,19}}$$

Oddiy uzun quvurlar va asosiy masalalar



$$\Omega_A, \Omega_B \gg \omega$$

1-masala

Berilgan: Suyuqlik sarfi (Q), quvur materiali, uzunligi (l), quvur diametri (d). Aniqlash kerak: (H) naporini, H=?

Yechim:

1. Uzun quvurlarni hisoblash formulasidan foydalaniladi:

$$H = AQ^2 l$$

2. Quvur diametri bo'yicha jadvaldan kvadrat qarshilik sohasi uchun quvurning solishtirma qarshiligi - A_{kv} yoki sarf moduli - K olinadi;

3. Olingan qiymat asosida, quyidagi formulaga qo'yiladi.

$$A = k_v A_{kv}$$

2-masala

Berilgan: Napor (H), quvur uzunligi (l), quvur materiali va diametri (d). Aniqlash kerak: Suyuqlik sarfi (Q), Q=?

Yechim:
$$H = AQ^2 l \quad Q = \sqrt{\frac{H}{Al}}$$

3-masala

Berilgan:

Napor (H), suyuqlik sarfi (Q), quvur materiali va uzunligi (l). Aniqlash kerak: Quvur diametri (d), d=?

Yechim:

$$H = AQ^2 l \quad A = \frac{H}{Q^2 l}$$

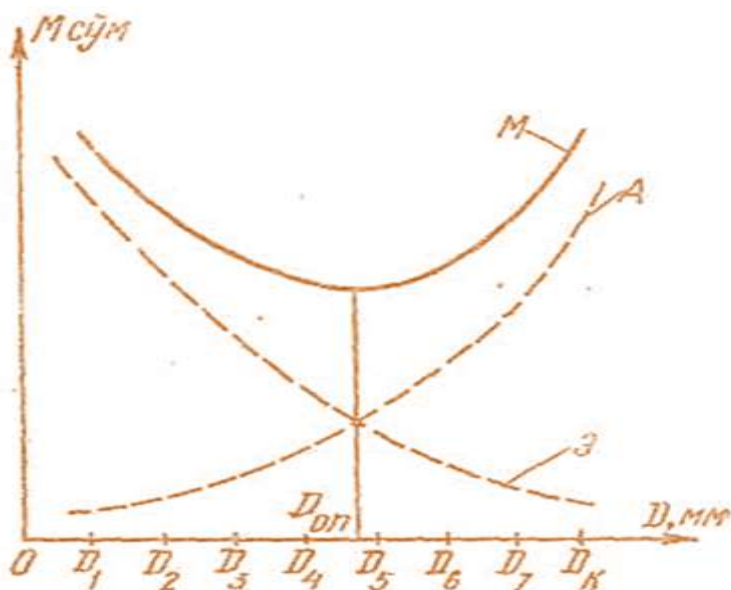
$$A = k_v A_{kv}; \quad A_{kv} \rightarrow d \quad \text{Shevelev jadvalidan.}$$

9.2 Quvurning iqtisodiy tejamli diametrini topish haqida tushuncha

Quvurlar sistemasini loyihalashda berilgan uzunlikdagi quvurdan suyuqlikni oqizib, berilgan sarfni olish uchun kerak bo'lgan naporni 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 napor ham kamayadi. Bu o'z navbatida suvni quvurdan oqizish uchun sarf bo'ladigan energiyaning kamayishiga olib keladi, ya'ni suyuqlikni quvurdan haydovchi nasos kamroq elektr energiyasi 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.k.) ning qiymati va undan foydalanishdagi harajatlar (elektr energiyasi, odamlar xizmati va h.k.) qiymatini solishtirish yo'li bilan hal qilinadi.

Bu masala xususiyl 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 tejamli diametr D_{op} bo'ladi.

9.2-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. (9.2 - rasmda eng tejamli diametr uchun D_5 ni olish kerak). Quvurning diametri D topilgandan keyin, Q va l ma'lum bo'lgan holda bosimni topish qiyin emas.



9.2 - rasm. Iqtisodiy qulay quvur diametrini hisoblashga oid chizma.

Yuqorida ko'rsatilgan usul juda murakkab va qiyin bo'lgani uchun undan odatda katta va murakkab quvur sistemalarini loyihalashda foydalaniladi.

Odatdagi hisoblashlarda ko`rilayotgan quvurga o`xshash quvurlar uchun juda ko`p texnik-iqtisodiy hisoblar davomida aniqlangan optimal tezlik v_{opt} yoki optimal qiyalik l_{opt} ning qiymatini berish yo`li bilan aniqlanadi. Suyuqlikning sarfini Q va V ma'lum bo`lgan holda diametrini 177oda177sh qiyin emas.

$$Q = v_{opt} \frac{\pi D^2}{4} \quad (9.17)$$

bundan

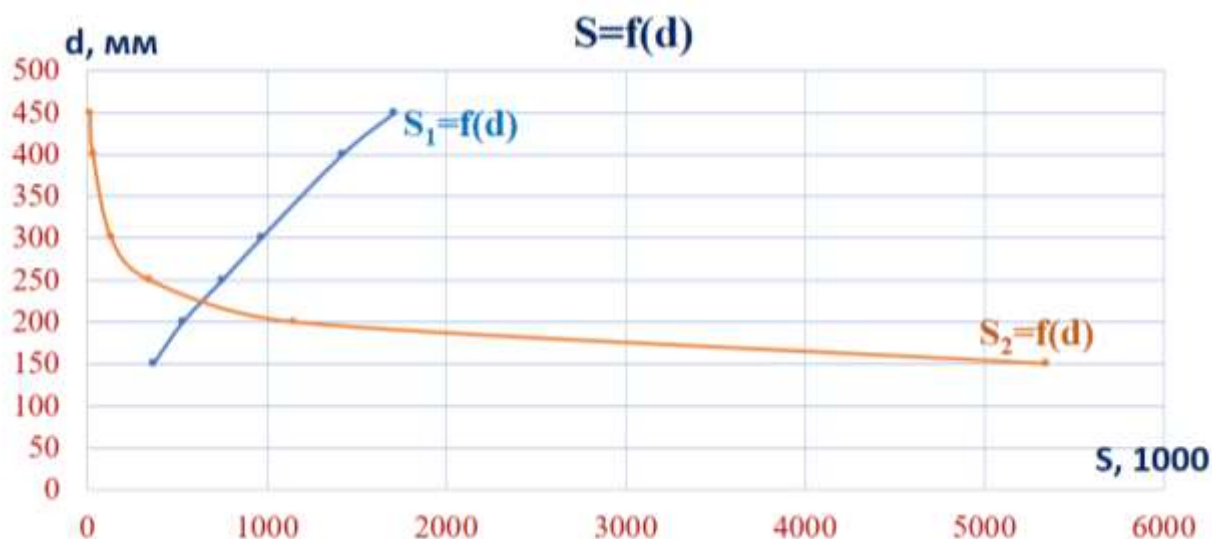
$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{opt}}} \quad (9.18)$$

Ba`zi hollarda taqribiy hisoblash uchun 177oda formulardan ham foydalanish mumkin. Quvurdagi bosimning katta-kichikligiga qarab turli materiallardan qilingan quvurlar ishlatish mumkin. Masalan, bosim 1 MH/m² gacha bo`lganda vodoprovod quvurlari uchun cho`yan quvurlar, katta bosimlar uchun esa po`lat quvurlardan foydalaniladi. Bundan shuni hisobga olish kerakki, GOST da cho`yan quvur uchun ichki diametr, po`lat quvur uchun esa tashqi diametr qabul qilingan.

9.1-jadval. Namunaviy iqtisodiy tahlil (gidravlik jihatdan)

d, mm	150	200	250	300	400	450
m_1 , t/m	0,037	0,053	0,075	0,097	0,142	0,171
K, l/c	158,4	340,8	616,4	999,3	2140	2920
H, m	0,4911	0,1061	0,0324	0,0123	0,0027	0,0014
N, kvv	5,3439	1,1544	0,3529	0,1343	0,0293	0,0157
S_1 , m.so`m	370	530	750	970	1420	1710
S_2 , m. So`m	5344	1154	353	134	29	16

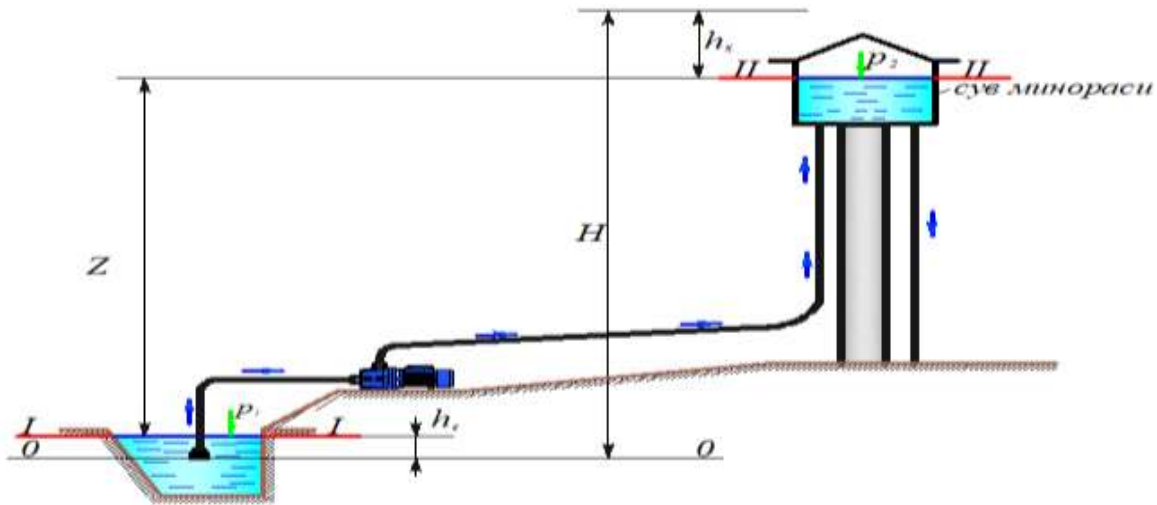
bu yerda: d – quvur diametri; m_1 – 1m.quvur massasi; K – sarf moduli; H – napor; N – quvvat; S_1 – qurilish xarajatlari; S_2 – ekspluatatsion xarajatlari;



9.1-grafik. Umumiy harajatning quvur diametriga bog`liqlik grafigi

Iqtisodiy eng qulay diametr umumiy harajatlarning minimum qiymatiga to'g'ri keladigan diametr hisoblanadi. Texnik-iqtisodiy hisoblar asosida eng qulay (optimal) quvur diametrini topish kerak bo'ladi.

Quvurning iqtisodiy eng qulay diametrini hisoblash uslubi



$$H = z + h_f.$$

9.3- rasm. Nasos qurilmasining sxemasi

1-nasos; 2-nasosning so'ruvchi quvuri; 3 – nasosning haydovchi quvuri.

1. Ekspluatatsion xarajatlar (gidravlik jihatdan)

Ekspluatatsion xarajatlarni nasosdan foydalanishda sarflanadigan xarajatlar bo'yicha aniqlaymiz:

Nasosning quvvati:

$$N = \frac{\rho g Q N}{\eta}; \quad (9.19)$$

bu yerda: H - nasos beradigan solishtirma energiya yoki nasos napori:

$$H = z + h_f + \frac{p_2 - p_1}{\gamma}; \quad p_1 = p_a; \quad p_2 = p_a; \quad H = z + h_f.$$

bu yerda: z -geometrik balandlik; η - nasos qurilmasining F.I.K.;

h_f -co'ruvchi (h_s) va haydovchi (h_x) quvurlarda yo'qolgan napor.

Haydovchi quvurda yo'qolgan napor:

$$h_x = \frac{Q^2 \cdot l}{K^2} = A_1 \cdot \frac{Q^2 \cdot l}{d^{5.25}};$$

A_1 - koeffitsient:

$$H = z + h_c + A_1 \cdot \frac{Q^2 \cdot l}{d^{5.25}}; \quad \text{- nasosning napori.} \quad (9.20)$$

Solishtirma ekspluatatsion harajatlar (1m. quvur uchun):

$$S_2 = N s_{kvt} t; \quad (9.21)$$

bu yerda: s_{kvt} - 1 kVt.soat elektr energiya narxi, so'm; t - nasosning ishlash vaqti, bir yilda;

Solishtirma ekspluatatsion harajatlar:

$$S_2 = \frac{\rho g Q}{\eta} \left(z + h_c + A \frac{Q^2}{d^{5.25}} \right) s_{kvt} t; \quad (9.22)$$

O'zgarmas parametrlarni umumlashtirib:

$$S_2 = V Q^{n+1} d^{-m}; \quad (9.23)$$

2. Haydovchi quvurni qo‘rish uchun sarflanadigan mablag‘ (bir yillik):

$$S_1 = \frac{1+R}{T} (D + sd^\alpha); \quad (9.24)$$

S_1 - yillik qurilish xarajatlari (1m. quvur uchun);

T - hisobiy foydalanish davri;

R - amortizatsiya va ta‘mirlash uchun sarf xarajatlar koeffitsienti, me‘yoriy ma‘lumotlar bo‘yicha quvur turiga qarab aniqlanadi;

D –quvurlar tizimining doimiy qurilish tan narhi;

s – quvur turiga va qurilish sharoitiga bog‘liq bo‘lgan me‘yoriy koeffitsient;

d – quvur diametri, m;

α – quvur turiga bog‘liq bo‘lgan daraja ko‘rsatgichi;

$$r = \frac{1+R}{T}; S_1 = r(D + sd^\alpha); \quad (9.25)$$

3. Iqtisodiy eng qulay quvur diametrini hisoblash

Yillik harajatlar: $S = S_1 + S_2 \quad d_u \rightarrow S_{min} \quad (9.26)$

S_1 - qurilish uchun sarflanadigan xarajatlar: $S_1 = p(D + sd^\alpha);$

S_2 - ekspluatatsion xarajatlar: $S_2 = VQ^{n+1}d^{-m};$

$$S = VQ^{n+1}d^{-m} + r(D + sd^\alpha); \quad (9.27)$$

$S' = 0, d \rightarrow$ iqtisodiy eng qulay diametrni aniqlaymiz:

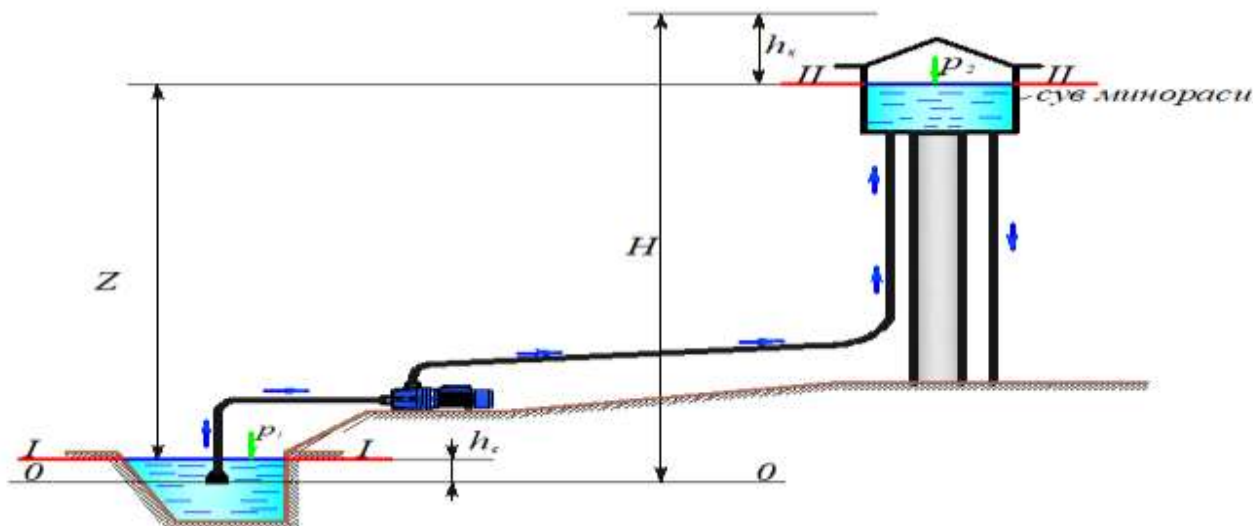
$$-mVQ^{n+1}d^{-(m+1)} + pacd^{\alpha-1} = 0 \quad (9.28)$$

Ohirgi (9.28) ifodadan, iqtisodiy eng qulay diametrni analitik hisoblash formulasiga kelimiz:

$$d_u = \sqrt[\alpha+m]{\frac{BmQ^{n+1}}{pac}} \quad (9.29)$$

Masala

Nasos quvurining iqtisodiy qulay diametrini hisoblash



9.4- rasm. Nasos qurilmasining sxemasi

Masalaning berilishi:

Nasos uzatayotgan suv sarfi, Q	68	l/s
Nasos haydovchi quvurining uzunligi, L	430	m
Quvur materiali	Po‘lat	
1 t quvurning narxi, m_1	6000	ming.so‘m

1 kVt.soat elektr energiya narhi, s_{kvt}	300	so'm
Nasosning ish vaqti 1 sutkada, t	20	soat,
Nasosning ish vaqti 1 yilda	330	sutka
Nasos qurilmasining F.I.K, η	0,75	
Quvurning hizmat ko'rsatish vaqti, T	12,5	yil
Nasos so'rish quvuridagi yo'qolgan napor, h_s	2,2	m
Quvurlar joylashish holati	Ochiq	
G'adir budurlik koeffitsienti,	0,4	mm
Suvning solishtirma og'irligi, γ	10000	N/m ³
Geometrik napor, Z	50	m

Talab qilinadi: Nasos haydovchi quvurning iqtisodiy eng qulay diametrini (d) ni aniqlash.

Yechish tartibi

I. Masala tanlash usulida yechiladi:

1. Bir necha diametr qiymatlari beriladi va quvur diametriga mos keluvchi oqim ko'ndalang kesim yuzasi aniqlanadi:

$$\omega_i = \frac{\pi d_i^2}{4} \quad (9.30)$$

2. Quvurdagi oqimning o'rtacha tezligi aniqlanadi:

$$v_i = \frac{Q_i}{\omega_i} \quad (9.31)$$

3. Quvurda yuqolgan napor aniqlanadi:

$$H_i = A_i Q_i^2 l_i \quad (9.32)$$

4. Solishtirma qarshilik A ning qiymatini aniqlaymiz.

$$A_i = k_v A_{kv} \quad (9.33)$$

k_v – koeffitsientiniyu qiymati quyidagi jadvaldan, yoki www.gidravlika-obi-life.zn.uz "Gidravlika va gidroinformatika" kafedrasidan olish mumkin:

ϑ	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2
k_v	1,41	1,31	1,20	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,03	1,02	1,00

6. Haydovchi quvurni qo'rish uchun sarflanadigan mablag', yillik qurilish xarajatlari (8.46) formula bo'yicha aniqlanadi:

$$S_1 = \frac{1+R}{T} (D + s\alpha^2); \quad (9.34)$$

7. Eksploatatsion xarajatlar (gidravlik jihatdan): Solishtirma eksploatatsion harajatlar (9.35) formuladan aniqlanadi:

$$S_2 = \frac{\rho g Q}{\eta} \left(z + h_c + A \frac{Q^2}{d^{5.25}} \right) s_{kvt} t; \quad (9.35)$$

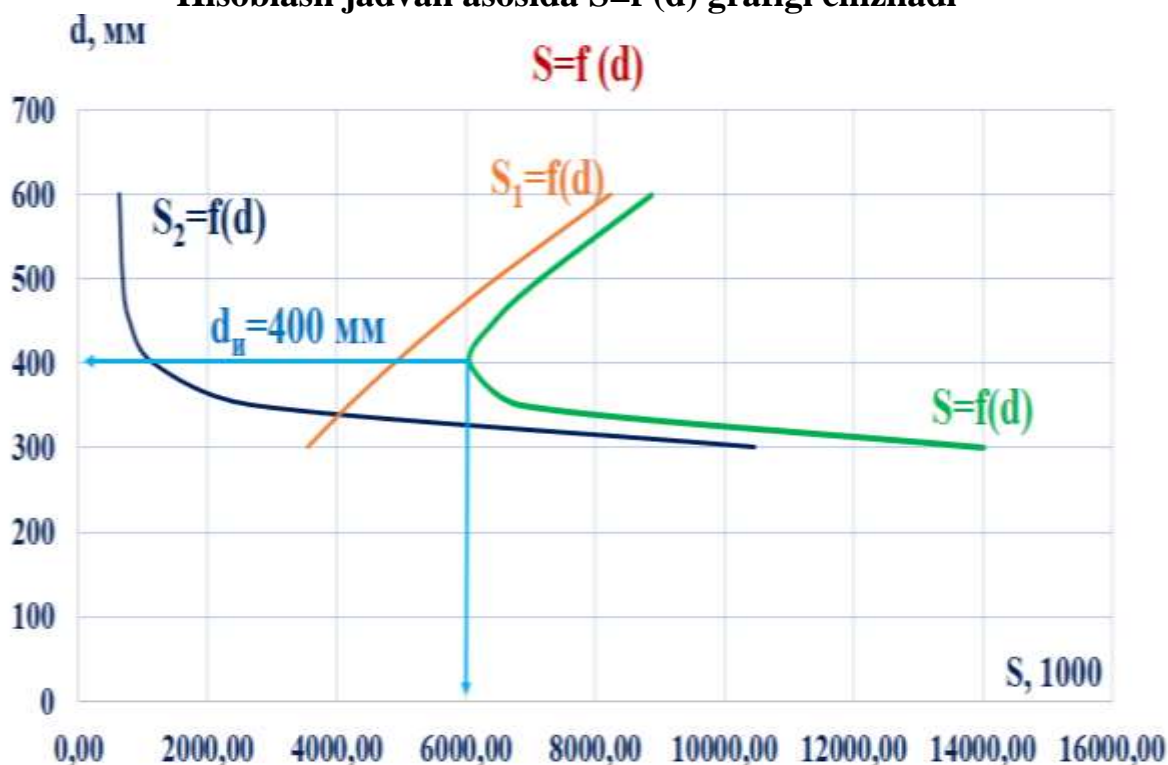
Hisoblash natijalari jadvalda keltiriladi (9.2-jadval).

Hisoblash ishlari EHM da bajariladi

9.2-jadval. Hisoblash natijalari

N_2	d mm	ω m^2	q m/s	k_v	A_{kv} s^2/m^6	A s^2/m^6	S_1 so'm	S_2 so'm	S so'm
1	300	0,071	0,96	1,04	0,715456	0,744074	3548,238	10470,22	14018,46
2	350	0,096	0,71	1,09	0,318502	0,347167	4193,191	2669,71	6862,90
3	400	0,126	0,54	1,15	0,157999	0,181699	4896,007	1155,67	6051,68
4	450	0,159	0,43	1,2	0,085134	0,102161	5653,667	785,58	6439,25
5	500	0,196	0,35	1,305	0,048964	0,063898	6463,636	682,59	7146,23
6	600	0,283	0,24	1,41	0,018801	0,026509	8232,134	633,95	8866,08

Hisoblash jadvali asosida $S=f(d)$ grafigi chiziladi



Grafikdan minimum xarajatga to'g'ri keladigan diametr qiymati topiladi:
Javob: $d_{opt}=400$ mm

Xisoblash ishlari EXM dasturi yordamida bajariladi

Iqtisodiy eng qulay quvur diametridini hisoblash

Quvur suv sarfi
 $Q = 68$ m³/s

Nasos stantsiyasidan suv minorasigacha bo'lgan quvur uzunligi
 $L = 430$ m

Quvur materiali

Nasos kurilmasining F.I.K.
 $F_{ik} = 0.75$ koeff.

Quvurning xizmat qilish vaqti
 $t = 12.5$ kun

Nasos sirtida quvuridagi bo'lgan naqar

Iqtisodiy eng qulay quvur diametridini hisoblash

Quvur suv sarfi
 $Q = 68$ m³/s

Nasos stantsiyasidan suv minorasigacha bo'lgan quvur uzunligi
 $L = 430$ m

Quvur materiali

Nasos kurilmasining F.I.K.
 $F_{ik} = 0.75$ koeff.

Quvurning xizmat qilish vaqti
 $t = 12.5$ kun

Nasos sirtida quvuridagi bo'lgan naqar

Hisoblash

D (mm)	ν (m ² /s)	ϕ (m/s)	λ	λ_0	λ_1	A	S_p	S	S'
50	1.002	14.65	0	0	0	0	0	0	0
75	2.004	15.40	0	0	0	0	0	0	0
100	3.006	8.60	0	0	0	0	0	0	0
125	2.012	5.54	0	0	0	0	0	0	0
150	3.018	3.85	0	0	0	0	0	0	0
200	3.031	2.17	0	0	0	0	0	0	0
250	3.049	1.39	0	0	0	0	0	0	0
300	3.073	0.96	1.02	0.02102	0.71846	0.71802	10971.55	2548.23609	12822.79
350	3.096	0.71	1.09	0.02023	0.51850	0.54717	2660.71	4182.18056	5862.80
400	3.126	0.54	1.15	0.01936	0.15800	0.18170	1155.67	4056.02739	6051.68
450	3.159	0.43	1.2	0.01899	0.08513	0.10216	785.53	3051.08654	6410.23
500	3.196	0.35	1.21	0.01850	0.04896	0.06414	682.83	6483.62607	7146.45
600	3.293	0.24	1.41	0.01768	0.01880	0.02651	633.95	8212.13369	5896.08
700	3.385	0.18	0	0	0	0	0	0	0
800	3.502	0.14	0	0	0	0	0	0	0
900	3.636	0.11	0	0	0	0	0	0	0
1000	3.785	0.09	0	0	0	0	0	0	0

Quvurlarda solishtirma energiya (napor) yo‘qolishini hisoblashga doir masala silindrik shakldagi bir hil diametrlil ($d=200$ mm), bir hil uzunlikdagi ($l=1000$ m) va har hil materialdan yasalgan uchta quvurda (1-yaxshi ishlov berilgan po‘lat quvur, absolyut g‘adir-budirligi $\Delta=0,05$ mm; 2-oddiy po‘lat quvur, absolyut g‘adir-budirligi $\Delta=0,5$ mm; 3-cho‘yan quvur absolyut g‘adir-budirligi $\Delta=1$ mm) harorati $t=15$ °S suv o‘zatilmoqda. Har bir quvurdagi suvning sarfi $Q=0,1$ m³/s.

Quvurlarda yo‘qolgan naporni (h_l) hamda oqim quvvatini (H) hisoblang.

Masalani yechish tartibi

1. Uzunlik bo‘yicha yo‘qolgan naporni aniqlash uchun Darsi-Veysbax formulasidan foydalanamiz:

$$h_l = \frac{\lambda l \phi^2}{d 2g} \quad (1)$$

Masalani sharti bo‘yicha quvur uzunligi, quvur diametri berilgan. Quvurdagi o‘rtacha tezlik va gidravlik ishqalinish koeffitsientini aniqlash lozim.

2. Oqim harakat kesim yuzasini aniqlaymiz

$$\omega = \frac{pd^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,2)^2}{4} = 0,0314 \text{ m}^2 \quad (2)$$

3. Oqim o‘rtacha tezligini aniqlaymiz

$$\phi = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,1}{0,0314} = 3,18 \text{ m/s} \quad (3)$$

4. Quvurdagi harakat rejimini baholash uchun Reynolds sonini aniqlaymiz. Silindrik quvurlap uchun Reynolds soni quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Re = \frac{\phi d}{\nu} \quad (4)$$

(4) ifoda hadlari quyidagicha:

ϑ - oqim tezligi;

d- quvur diametri;

v- kinematik yopishqoqlik koeffitsienti;

Kinematik yopishqoqlik koeffitsienti suyuqlikning xiliga va haroratiga bog'liq ravishda o'zgaradi.

1-jadval. Kinematik yopishqoqlik koeffitsienti (suv uchun)

t $^{\circ}C$	0	5	10	15	20	30	50
sm^2/s	0,0178	0,0152	0,0131	0,0124	0,0114	0,0081	0,0054

Reynolds soni:

$$Re = \frac{\vartheta d}{\nu_{15^{\circ}}} = \frac{318 * 20}{0.0124} = 512903$$

Reynolds soni $Re > Re_{kr}$ ($Re_{kr}=2320$) bo'lganligi uchun oqim turbulent harakat rejimida.

5. Turbulent harakat rejimining qarshilik sohasini aniqlaymiz:

1-quvur uchun nisbiy g'adir-budirlik koeffitsienti:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,05}{200} = 0,00025$$

$$\frac{10}{\bar{\Delta}} = \frac{10}{0,00025} = 40000$$

$$\frac{560}{\bar{\Delta}} = \frac{560}{0,00025} = 2240000$$

Reynolds soni ($Re=512903$) kvadratgacha qarshilik sohasida joylashgan.

2-quvur uchun nisbiy g'adir-budirlik koeffitsienti:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,5}{200} = 0,0025$$

$$\frac{10}{\bar{\Delta}} = \frac{10}{0,0025} = 4000$$

$$\frac{560}{\bar{\Delta}} = \frac{560}{0,0025} = 224000$$

Reynolds soni ($Re=512903$) kvadrat qarshilik sohasida joylashgan.

3-quvur uchun nisbiy g'adir-budirlik koeffitsienti:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d} = \frac{1}{200} = 0,005$$

$$\frac{10}{\bar{\Delta}} = \frac{10}{0,005} = 2000$$

$$\frac{560}{\bar{\Delta}} = \frac{560}{0,005} = 112000$$

Reynolds soni ($Re=512903$) kvadrat qarshilik sohasida joylashgan.

$Re < 2320$	Laminar harakat tartibi
$2320 < Re < 4000$	Laminar harakatdan turbulent harakatga o'tish soha
Turbulent harakat tartibi	
	Silliq quvurlar soha
	Qvadrat qarshilikgacha bo'lgan soha
	Qvadrat qarshilik soha

6. Hidravlik ishqalanish koeffitsientini aniqlaymiz:

1-quvur uchun: Kvadrat qarshilikgacha sohasida bo'lganligi uchun Altshul formulasidan foydalanamiz:

$$\lambda = 0,11 \left(\bar{\Delta} + \frac{64}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(0,00025 + \frac{68}{512903} \right)^{0,25} = 0,015$$

2-quvur uchun: Kvadrat qarshilik sohasida bo'lganligi uchun Shifrinson formulasidan foydalanamiz:

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta})^{0,25} = 0,11(0,0025)^{0,25} = 0,024$$

3-quvur uchun: Kvadrat qarshilik sohasida bo'lganligi uchun Shifrinson formulasidan foydalanamiz:

$$\lambda = 0,11(\bar{\Delta})^{0,25} = 0,11(0,005)^{0,25} = 0,029$$

7. Uzunlik bo'yicha yo'qolgan naporni (1) formula yordamida aniqlaymiz va hisoblash natijalarini jadvalda keltiramiz (2-jadval).

8. Oqim quvvatini aniqlaymiz:

$$1\text{-quvur: } N = \gamma Q h_{11} = 10000 * 0,1 * 38,6 = 38,6 \text{ kVt}$$

$$2\text{-quvur: } N = \gamma Q h_{12} = 10000 * 0,1 * 61,8 = 61,8 \text{ kVt}$$

$$3\text{-quvur: } N = \gamma Q h_{13} = 10000 * 0,1 * 74,7 = 74,7 \text{ kVt}$$

2-jadval. Hisoblash natijalari

Quvur materiali	Diametr mm	Sarf m ³ /s	Masofa m	Temperatura °S	Napor yo'qolishi m	Oqim quvvati kVt
Po'lat, yaxshi ishlov berilgan	200	0,1	1000	15	38,6	38,6
Oddiy po'lat quvur	200	0,1	1000	15	61.8	61.8
Chuyan	200	0,1	1000	15	74.7	74.7

Tahliliy masala

Quvurda yo'qolgan naporni (solishtirma energiyani) hisoblang. Hisoblashda Blazius yoki Shifrinson formulasidan foydalaning.

1. Oqim harakat kesim yuzasini aniqlaymiz:

$$\omega = \frac{pd^2}{4} = \frac{3,14 * (0,3)^2}{4} = 0,07065 \text{ m}^2$$

3. Oqim o'rtacha tezligini aniqlaymiz:

$$\vartheta = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,1}{0,07065} = 1,41 \text{ m/c}$$

4. Quvurdagi harakat rejimini baholash uchun Reynolds sonini aniqlaymiz:

$$Re = \frac{\vartheta d}{\nu_{10^\circ}} = \frac{141 * 30}{0,0124} = 341129$$

Reynolds soni $Re > Re_{kr}$ ($Re_{kr}=2320$) bo'lganligi uchun oqim turbulent harakat rejimida.

4. Gidravlik ishqalanish koeffitsientini va unga mos napor yo'qolishini aniqlaymiz: a) Blazius formulasi bo'yicha:

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{341129}} = 0.013 \quad h_l = 1.75 \text{ m}$$

b) Shifrinson formulasi bo'yicha:

$$\lambda = 0.11(\overline{\Delta})^{0.25} = 0.11(0.004)^{0.25} = 0.027 \quad h_l = 3.64 \text{ m}$$

5. Ikki hil holat uchun oqim quvvatlarini va ular farqini aniqlaymiz:

$$N_1 = \gamma QH = 10000 * 0.1 * 1.75 = 1.75 \text{ kVt};$$

$$N_2 = \gamma QH = 10000 * 0.1 * 3.64 = 3.64 \text{ kVt};$$

Quvvatlar farqi:

$$N_1 - N_2 = 3.64 - 1.75 = 1.89 \text{ kVt}$$

Mablag' miqdori ($1 \text{ kVt} * s = 295 \text{ so'm}$):

$$R_1 = 557 \text{ so'm};$$

Bir kunda:

$$R_1 * 20 = 11,140 \text{ so'm}$$

9.3 Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash

Ketma-ket va parallel ulangan quvurlarni hisoblash sodda quvurlarni hisoblashga qaraganda murakkab bo'lib, u qaysi tartibda ulanganiga bog'liq. Shuning uchun bu ikki ulash usulini alohida ko'rib chiqamiz.

Ketma-ket ulash. Bir necha har xil diametrli quvurlardan tashkil topgan quvurni ko'ramiz. Ular ketma-ket ulangan bo'lib, qarshiliklari $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, uzunliklari L_1, L_2, \dots, L_n bo'lsin (8.6-rasm).

Bu quvurlarning har birida sarflar teng bo'lishi uzilmaslik tenglamasidan ko'rinadi. U holda quvurlardagi bosimning kamayishi (9.9) 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 printsipligiga asosan quyidagicha hisoblanadi.

$$H = H_1 + H_2 + \dots = H_n = (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n) Q^2. \quad (9.36)$$

Shunday qilib, quvurlar ketma-ket ulanganda umumiy qarshilik xususiy qarshiliklar yig'indisidan iborat.

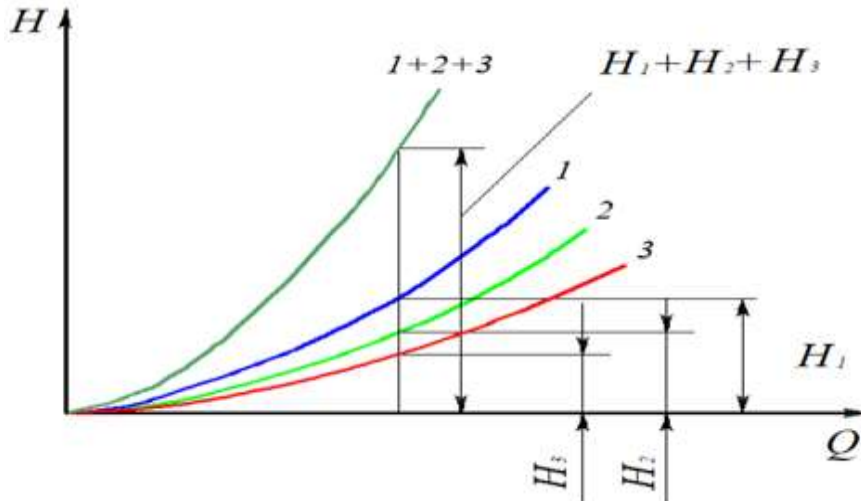
$$\alpha = \sum_1^n \alpha_n \quad (9.37)$$

Bu ikki (9.36) va (9.37) tenglama quvurlarni ketma-ket ulashda xarakteristika tuzish uchun asos bo'ladi.

Avval ketma-ket ulangan ikkita quvurni ko'ramiz. Bu quvurlarning xarakteristikalari 9.5 - rasm, a da 1 va 2 grafiklar orqali ifodalangan. Ikki quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (9.36) 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 (9.5-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 formulasidan farqli ravishda, kirishdagi va chiqishdagi tezlik damlarining farqi qatnashadi:



9.5 - rasm. Ketma-ket ulangan quvurlarning xarakteristikasi

$$H = z_A - z_B + \frac{\alpha_A \mathcal{Q}_A^2 - \alpha_B \mathcal{Q}_B^2}{2g} + \sum H_n + \frac{P_B}{\gamma} = H_g + cQ^2 + \alpha Q^2 \quad (9.38)$$

bu yerda:

$$c = \frac{1}{2g} \left(\frac{\alpha_A}{\omega_A^2} - \omega \frac{\alpha_B}{\omega_B^2} \right),$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i,$$

$$H_g = z_A - z_B + \frac{P_B}{\gamma}$$

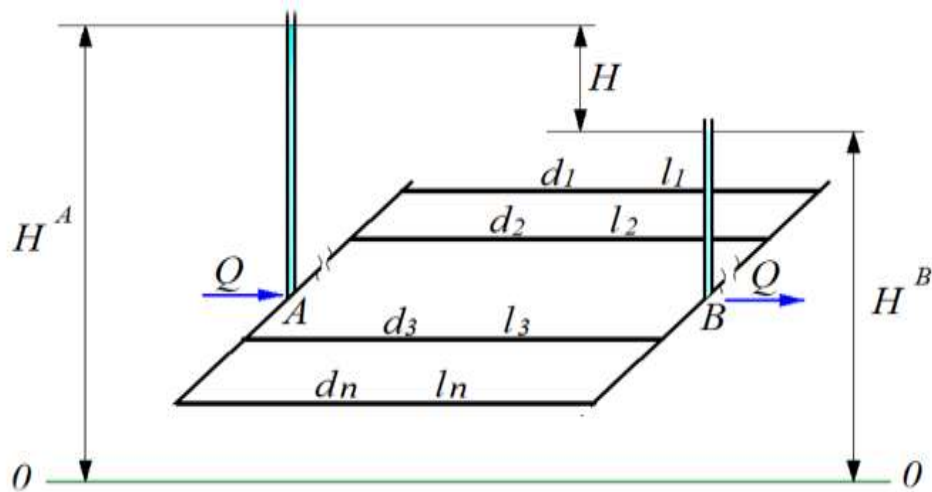
ω_A, ω_B - kirish va chiqishdagi kesim yuzalari.

Parallel ulash. Endi bir qancha parallel ulangan sodda quvurlardan tashkil topgan murakkab quvurni ko`ramiz (9.6-rasm). Sodda quvurlarning sarflari $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$, qarshiliklari $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ bo`lsin. Umumiy sxemadan ko`rinib turibdiki, murakkab quvurning sarfi sodda quvurlar sarflarining yig`indisiga teng.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \sum Q_n. \quad (9.39)$$

Har bir sodda quvurdagi bosimning kamayishi ham, murakkab quvurdagi bosimning kamayishi ham A va B nuqtalardagi to`la bosimlarning ayirmasiga teng:

$$H_A - H_B = H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n = H. \quad (9.40)$$



9.6 - rasm. Quvurlarni parallel ulash

Har bir quvurdagi bosimning kamayishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= \alpha_1 Q_1^2 \\
 H_2 &= \alpha_2 Q_2^2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 H_n &= \alpha_n Q_n^2
 \end{aligned}$$

Bulardan sarflarni topib, (9.39) ga qo'yamiz:

$$Q = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{H_3}}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{\sqrt{H_n}}{\sqrt{\alpha_n}}. \tag{9.41}$$

va (9.43) dan foydalanib, quyidagi munosabatni olamiz:

$$Q = \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right) \sqrt{H}. \tag{9.42}$$

Bu tenglikdan murakkab quvur uchun bosim kamayishi tenglamasini chiqaramiz:

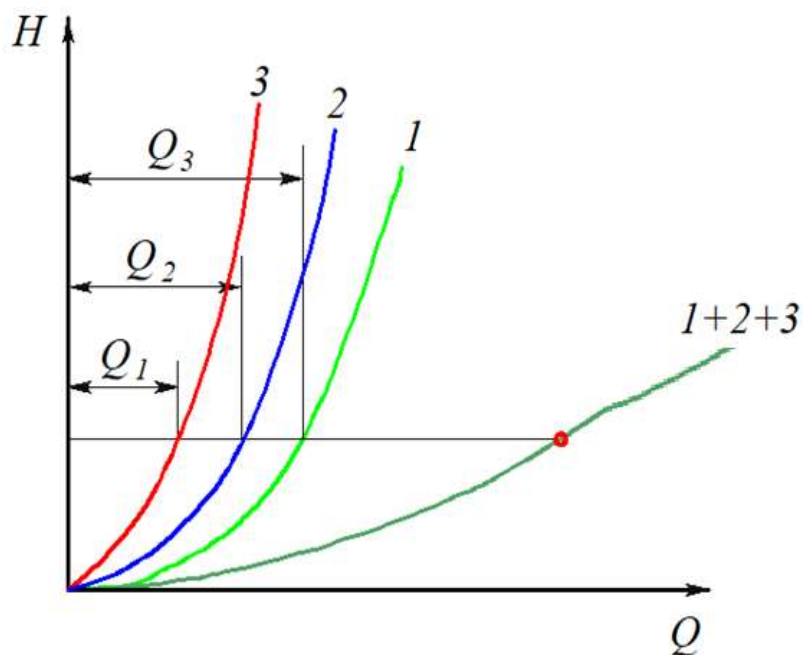
$$H = \frac{Q}{\left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{1}{\sqrt{\alpha_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{\alpha_n}} \right)^2}. \tag{9.43}$$

Shunday qilib, parallel ulangan murakkab quvurning qarshiligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} \right)^2}. \tag{9.44}$$

Parallel ulangan quvurning xarakteristikasini tuzish uchun (9.39) va (9.40) tenglamalardan foydalanamiz. Avval ikki parallel quvurdan iborat murakkab quvurni ko'ramiz (9.7-rasm, a) Parallel quvurlarning xarakteristikalari 1 va 2 grafiklar ko'rinishida ifodalangan. Murakkab quvurning xarakteristikasini hosil qilish uchun (9.40) 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.

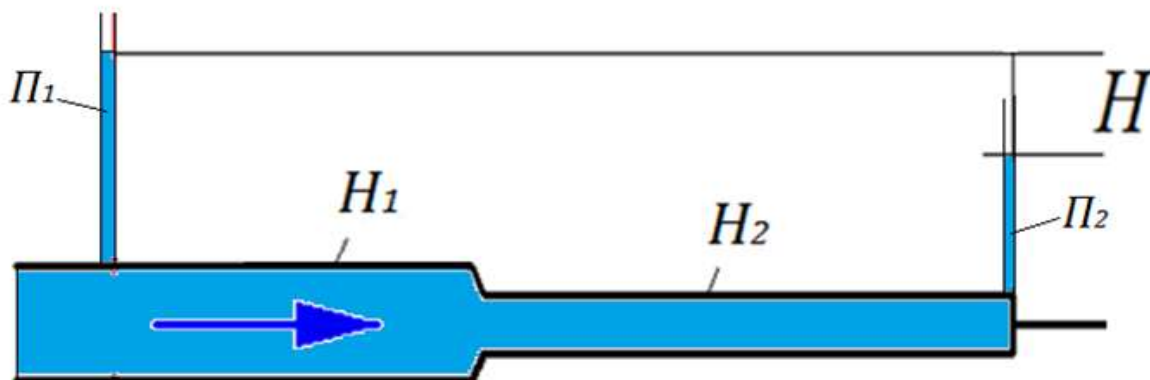


9.7 - rasm. Parallel ulangan quvurlarning xarakteristikasi.

Bu holda ham bir xil bosimda 1 quvurning sarfiga avval 2 quvur sarfini, so`ng 3 quvur sarfini qo`shish yo`li bilan murakkab quvurning xarakteristikasini tuzamiz. n ta parallel quvurdan tuzilgan murakkab quvurning xarakteristikasi ham xuddi shu usulda hosil qilinadi.

1-masala

Berilgan: Ikkita o`zaro ketma ket ulangan quvurlar tizimida napor $N=6$ m. Quvurlarning uzunligi: $l_1=200$ m. $l_2=300$ m. Sarf modullari: $K_1=24$ l/s ; $K_2=8$ l/s.



Talab qilinadi:

1. Ketma-ket ulangan quvurlardan o`tayotgan sarfni (Q) aniqlang?
2. Xar bir quvurda yo`qolgan naporni (H_1, H_2) aniqlang?

Yechim: 1. Ketma- ket ulangan quvurlarni hisoblash formulasi :

$$H = \frac{Q^2}{K_1^2} l_1 + \frac{Q^2}{K_2^2} l_2 \quad (1)$$

2. (1) formuladan sarfni aniqlaymiz:

$$Q = \sqrt{\frac{H}{\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2}}} = \sqrt{\frac{6}{\frac{200}{0,024^2} + \frac{300}{0,008^2}}} = 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

3. Har bir quvurda yo‘qolgan naporni aniqlaymiz:

$$H_1 = \frac{Q^2}{K_1^2} l_1 = \frac{0,001^2}{0,024^2} * 200 = 0,42 \text{ m}$$

$$H_2 = \frac{Q^2}{K_2^2} l_2 = \frac{0,001^2}{0,008^2} * 300 = 5,58 \text{ m}$$

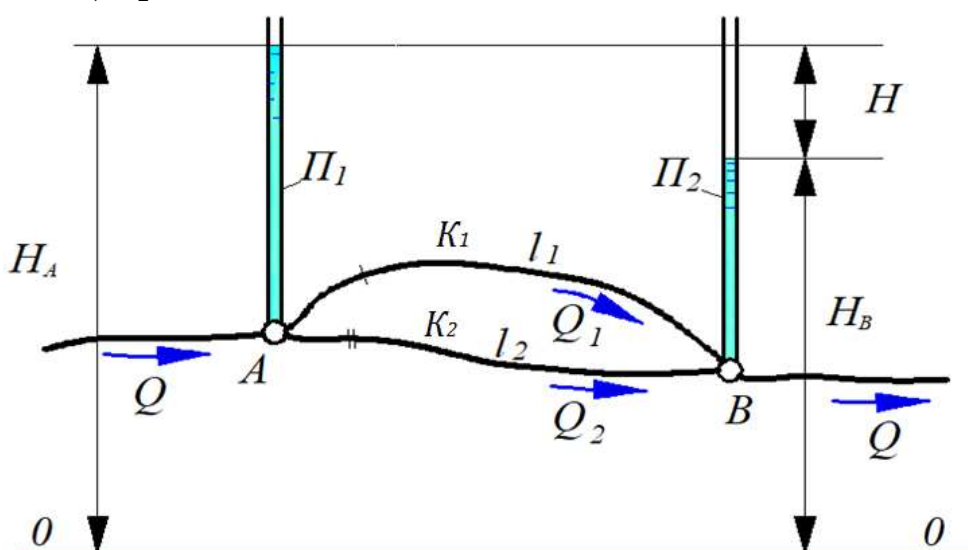
$$\text{Tekshirish: } H = H_1 + H_2 = 0,42 + 5,58 = 6 \text{ m}$$

2-masala

Berilgan: Ikki ta o‘zaro parallel ulangan quvurlar tizimidan utayotgan sarf:

$Q = 125 \text{ l/s}$. Quvurlarning uzunligi: $l_1 = 400 \text{ m}$; $l_2 = 300 \text{ m}$. Sarf modullari:

$K_1 = 340 \text{ l/s}$; $K_2 = 600 \text{ l/s}$.



Talab qilinadi:

1. Yuqolgan naporni aniqlang (H);

2. Xar bir kuvurdagi o‘tayotgan sarfni aniklang (Q_1, Q_2).

Yechim: 1. Parallel ulangan quvurlarni hisoblash formulasi:

$$Q = Q_1 + Q_2 = K_1 \sqrt{\frac{H}{l_1}} + K_2 \sqrt{\frac{H}{l_2}} \quad (1)$$

2. (1) Formuladan foydalanib, naporni aniqlaymiz:

$$H = \frac{Q^2}{\left(\frac{K_1}{\sqrt{l_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{l_2}}\right)^2} = \frac{0,125^2}{\left(\frac{0,34}{\sqrt{400}} + \frac{0,6}{\sqrt{300}}\right)^2} = 5,86 \text{ m}$$

3. Har bir quvurdagi sarf:

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{H}{l_1}} = 0,34 \sqrt{\frac{5,86}{400}} = 41 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_2 = K_2 \sqrt{\frac{H}{l_2}} = 0,6 \sqrt{\frac{5,86}{300}} = 84 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Tekshirish: $Q = Q_1 + Q_2 = 41 + 84 = 125 \text{ l/s}$

9.4 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 (9.8 - rasm). Ularning oxirgi nuqtalarining balandliklari z_1, z_2, z_3 , bosimlari p_1, p_2, p_3 , sarflari Q_1, Q_2, Q_3 bo`lsin U holda bu sarflarning yig`indisi asosiy quvurdagi sarfga to`g`ri keladi:

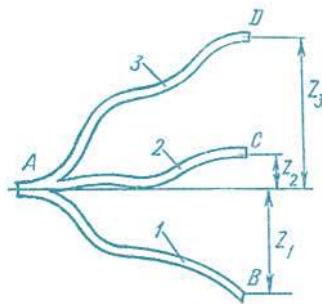
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Har bir tarmoq uchun Bernulli tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{p_A}{\gamma} = z + \frac{p_1}{\gamma} + H_1$$

$$\frac{p_A}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + H_2$$

$$\frac{p_A}{\gamma} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + H_3$$



9.8 - rasm. Quvurlarning tarmoqlarga bo`linishi.

Bu tengliklarda p_1, p_2, p_3 larni atmosfera bosimiga teng deymiz va $\frac{p_A}{\gamma} = H_A$ ekanini hisobga olib hamda 1, 2, 3 quvurlar uchun quyidagilarni yozamiz:

$$H_A = z_1 + \alpha_1 Q_1^2; \quad H_A = z_2 + \alpha_2 Q_2^2; \quad H_A = z_3 + \alpha_3 Q_3^2 \quad (9.45)$$

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:

$$H_1 = \alpha_1 Q_1^2; \quad H_1 - z_{1-2} = \alpha_2 Q_2^2; \quad H_1 - z_{1-3} = \alpha_3 Q_3^2 \quad (9.46)$$

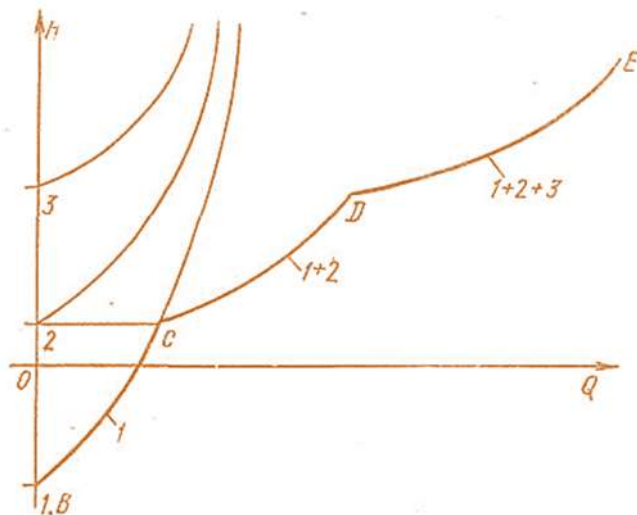
Bu tenglamalardan 1, 2, 3 quvurlardagi sarflarni topib va qo`shib umumiy harjni topamiz:

$$Q = \left(\frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{H_1 - z_{1-2}}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{H_1 - z_{1-3}}}{\sqrt{\alpha_3}} \right) \quad (9.47)$$

yoki

$$Q = \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{1 - z'_{1-2}}}{\sqrt{\alpha_2}} + \frac{\sqrt{1 - z'_{1-3}}}{\sqrt{\alpha_3}} \right) H_1 \quad (9.48)$$

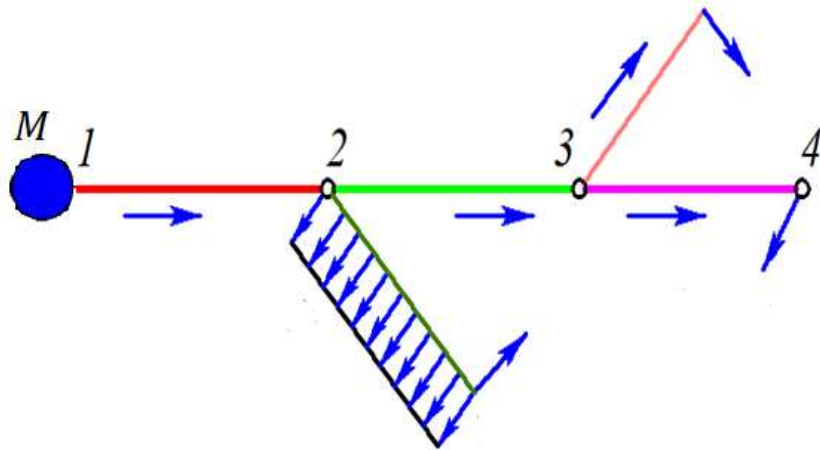
bu yerda: $z'_{1-2} = \frac{z_{1-2}}{H_1}$, $z'_{1-3} = \frac{z_{1-3}}{H_1}$ bo`lib, ular uchun $z'_{1-2} < 1$, $z'_{1-3} < 1$ tengsizliklar o`rinlidir. Agar uchala quvurning ham ikkinchi uchi bir xil balandlikda bo`lsa ($z_1 = z_2 = z_3$), u holda $z'_{1-2} = 0$; $z'_{1-3} = 0$ va H_1, H_2, H_3 lar 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 (9.9 - rasm). Buning uchun ularning xarakteristikalarini quvurlarni parallel ulash dagi kabi qo`shamiz.



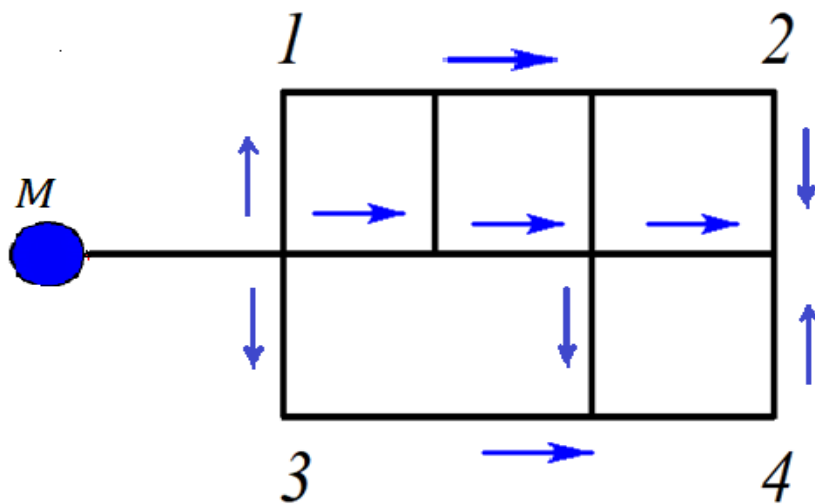
9.9 - rasm. Tarmoqlarga bo`lingan quvurning xarakteristikasi.

Natijada 9.9-rasmda tasvirlangandek siniq egri chiziq *BSDE* ni olamiz. Bu chiziq tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika bo`lib, u 2 va *BSDE* ni olamiz. Bu chiziq tarmoqlangan quvur uchun xarakteristika bo`lib, u 2 va 3 quvurlarning ikkinchi uchi balandligida *C* va *D* nuqtalarda sinadi. Agar suyuqlik *A* nuqtadan *B*, *C*, *D* nuqtalarga qarab emas, teskari yo`nalishda oqsa unda 1, 2, 3 quvurlarning xarakteristikalari (sarflar Q_1, Q_2, Q_3 manfiy bo`lgani uchun) *H* o`qining chap tomonida (ya'ni *Q* o`qining manfiy yo`nalishida) qo`shiladi. 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 foydalanib sistema uchun xarakteristika yoki tenglama tuzamiz. Bu qoidaga asosan har qanday murakkab quvurlar sistemasini hisoblash mumkin.



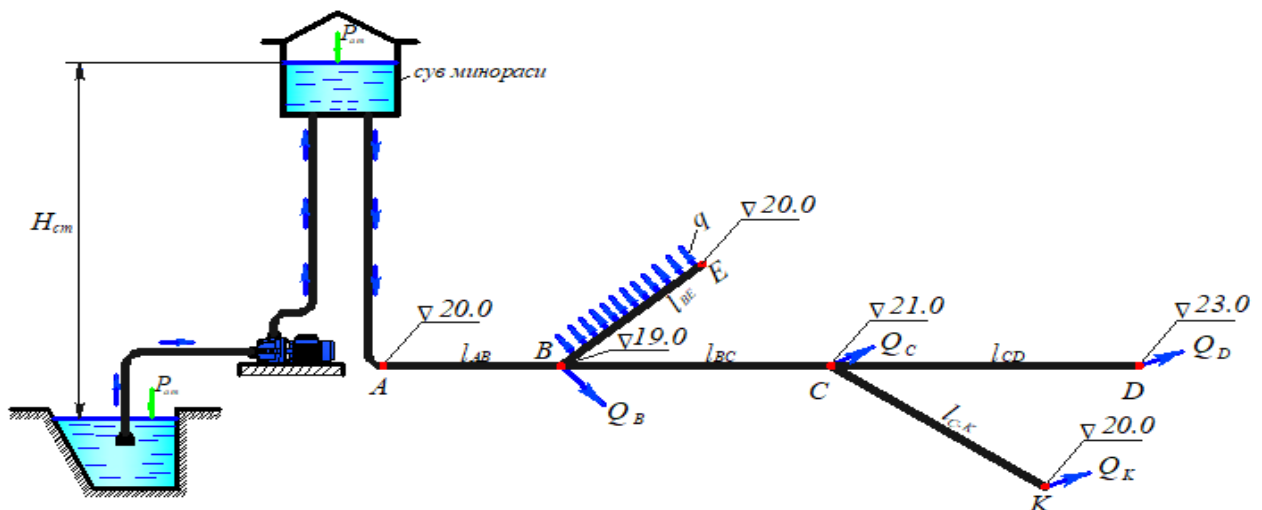
9.10-rasm. Tarmoqlangan quvurlar tizimi



9.11-rasm. Halqasimon quvurlar tizimi

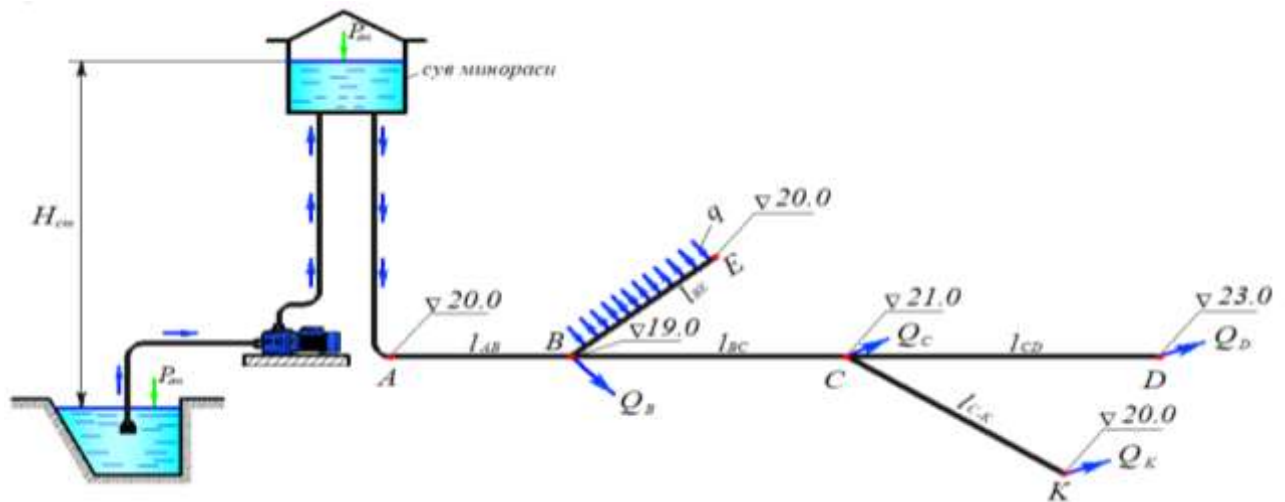
Murakkab quvurlar tizimining gidravlik hisobi EHM dasturlari asosida bajariladi: (EPONET 1,2)

Tarmoqlangan quvurlar tizimini hisoblash



Tarmoqlangan quvurlar tizimini sxematik ko‘rinishi

Masala



Berilgan:

h_e - erkin napor: $h_e = 5,0 \text{ m}$

l	l_{AB}	l_{BC}	l_{CD}	l_{CK}	l_{BE}
m	200	320	270	300	200
Q	Q_B	Q_C	Q_D	Q_K	$q \cdot l_{BE}$
l/s	8,0	4,0	8,0	3,0	8,0

Talab qilinadi:

1. Tarmoqlangan quvurlar tizimining har bir uchastkasidagi quvur diametrlari (d) aniqlash.
2. Suv minorasining balandligini (H_A) aniqlash;
3. Pezometrik chiziq qurish;
4. Tarmoqlar diametrini (d) aniqlash.

Yechish tartibi

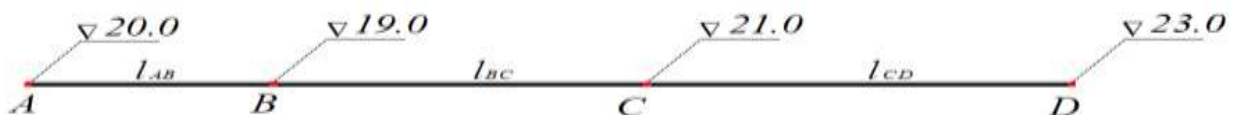
Masalaning yechimi 2 qismdan iborat bo'ladi:

I - qism. Tarmoqlangan quvurlar tizimining magistral qismining hisobi;

II - qism. Tarmoqlarning hisobi.

I - qism. Tarmoqlangan quvurlar tizimining magistral qismi:

1. Hisoblash sxemasi:



2. Tizimning har bir uchastkasidagi suv sarfi aniqlanadi:

$$Q_{AB} = Q_{BC} + Q_B + q \cdot l_{BE} \quad Q_{BC} = Q_{CD} + Q_K + Q_C \quad Q_{CD} = Q_D$$

3. Har bir uchastka uchun quvur diametri quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_i}{\pi \cdot v_i}}$$

Q_i - har bir uchastkadagi suv sarfi;

ϑ_i - iqtisodiy tezlik, suv taminoti quvurlari uchun: $\vartheta \approx 1 \text{ m/s}$

4. Aniqlangan diametrlarning standart qiymati qabul qilinadi, bunda eng yaqin standart diametr olinadi:

$$d_i \rightarrow d_{st}$$

bunda d_{st} ning qiymati mahsus adabiyotlardan yoki www.gidravlika-obi-life.zn.uz "Gidravlika va gidroinformatika" kafedrasidan olish mumkin.

5. Quvurdagi haqiqiy tezlik aniqlanadi:

$$\vartheta_i = \frac{Q_i}{\omega_i} \quad \omega_i = \frac{\pi \cdot d_{st}^2}{4}$$

6. Har bir uchastkada yo'qolgan napor aniqlanadi (H_{AV}, H_{VS}, H_{SD}):

$$H_i = \frac{Q_i^2 l_i}{K_i^2} \quad \text{yoki} \quad H_i = A Q_i^2 l_i$$

bu yerda: l_i - har bir uchastkada quvur uzunligi;

A - quvurning solishtirma qarshiligi: $A = k_v \cdot A_{kv}$

A_{kv} - qiymati quvur materiali va diametri asosida, F.Shevelev jadvalidan yoki www.gidravlika-obi-life.zn.uz "Gidravlika va gidroinformatika" kafedrasidan olish mumkin;

$k_v = f(\vartheta_i)$ - tezlikka bog'liq ravishda aniqlanadi.

7. Pezometrik chiziq quriladi: bu yerda: h_e - erkin napor, $h_e = 5.0 \text{ m}$;

D nuqtadagi pezometrik napor: $\nabla D^P = \nabla D + h_s = 23 + 5 = 28 \text{ m}$

S nuqtadagi : $\nabla C^P = \nabla D^P + H_{CD} = 28 + 3,06 = 31,06 \text{ m}$

V nuqtadagi: $\nabla B^P = \nabla C^P + H_{BC} = 31,06 + 5,5 = 36,56 \text{ m}$

A nuqtadagi, minoradagi suv sathi:

$$\nabla A^P = \nabla B^P + H_{AB} = 36,56 + 1,38 = 37,94 \text{ m}$$

8. Suv minorasining balandligi aniqlanadi:

$$H_A = \nabla A^P - \nabla A = 37,94 - 20 = 17,94 \text{ m}$$

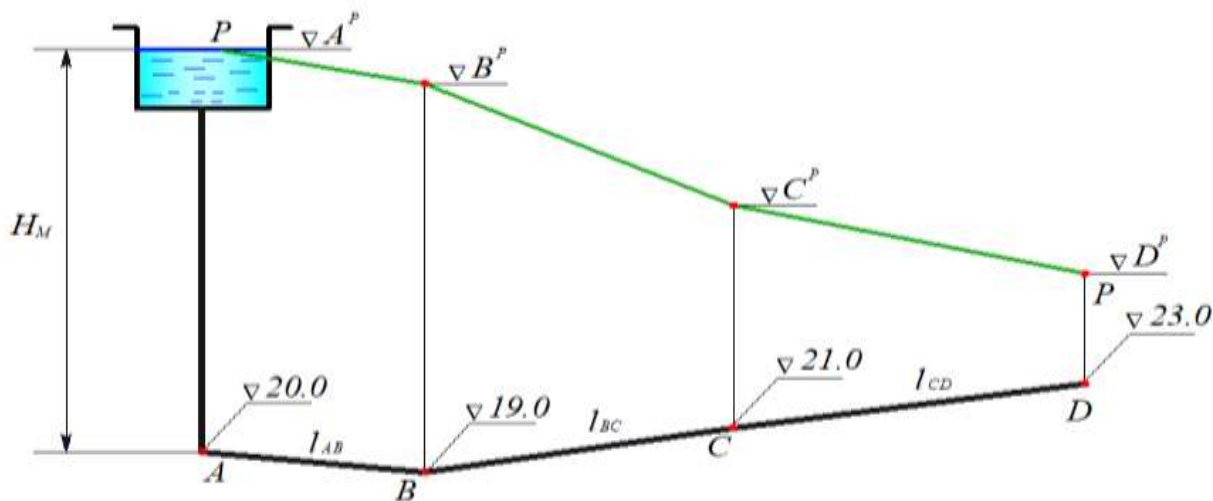
Hisoblash natijalari jadvalda keltiriladi (3-jadval).

9.3-jadval. Hisoblash natijalari

Nuqtalar	Yer	sathi	belgidari	Uchaska	lar	l	Q	d_{his}	d_{st}	ω	ϑ	k_v	$A_{kv} \text{ s}^2/\text{m}^6$	H	N_r
						m	l/s	m	m	m^2	m/s			m	m
A	20														37,94
		AB				200	31	0,199	0,200	0,0314	0,99	1,03	6,954	1,38	
B	19														36,56
		BC				320	15	0,138	0,125	0,0123	1,22	1,00	76,36	5,50	
C	21														31,06
		CD				270	8	0,101	0,100	0,0079	1,02	1,02	172,9	3,06	
D	23														28,00

Pezometr chiziqlarini qurish

Yuqorida aniqlangan naporlar orqali pezometrik chiziqni quramiz:

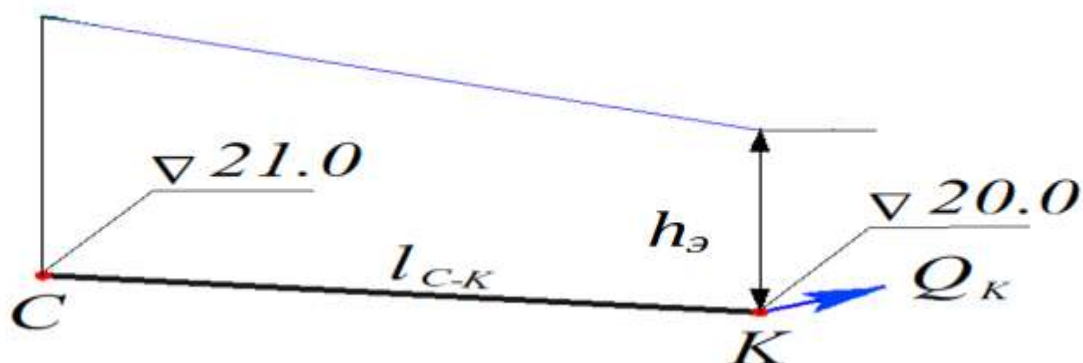


Pezometr chizig'ini qurish sxemasi

II-qism. Tarmoqlarni hisoblash

CK tarmog'i:

1. Hisoblash sxemasi:



3. CK quvurida yo'qolgan napor aniqlanadi:

$$H_{CK} = \nabla C^p - \nabla K^p = 31,06 - 25,0 = 6,06 \text{ m} \quad \nabla K^p = \nabla K + h_3 = 20 + 5 = 25,0 \text{ m}$$

4. Sarf moduli aniqlanadi va sarf moduli bo'yicha jadvaldan d_{sk} olinadi:

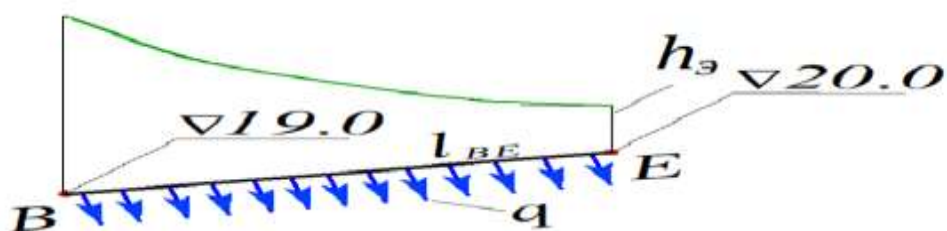
$$H_{CK} = \frac{Q_{CK}^2 l_{CK}}{K_{CK}^2} \quad K_{CK} = Q_{CK} \sqrt{\frac{l_{CK}}{H_{CK}}} = 0,003 \sqrt{\frac{300}{6,06}} = 21 \text{ l/s} \quad K_{CK} \rightarrow d_{CK}$$

4. Aniqlangan diametrning katta standart qiymati qabul qilinadi.

$$d_{CK} = 75 \text{ mm}$$

BE tarmog'i:

5. Hisoblash sxemasi:



6. BE quvurida yo'qolgan napor:

$$H_{BE} = \nabla B^P - \nabla E^P = 36,56 - 25 = 11,56 \text{ m} \quad \nabla E^P = \nabla E +$$

$$h_3 = 20,0 + 5 = 25,0 \text{ m}$$

7. Sarf moduli aniqlanadi va sarf moduli asosida jadvaldan d_{BE} olinadi:

$$H_{BE} = \frac{1}{3} \frac{Q_{BE}^2 l_{BE}}{K_{BE}^2}$$

$$K_{BE} = Q_{BE} \sqrt{\frac{l_{BE}}{3H_{BE}}} = 0,008 \sqrt{\frac{200}{3 * 11,56}} = 19,2 \text{ л/с}$$

$$K_{BE} \rightarrow d_{BE}$$

8. Aniqlangan diametrning katta standart qiymati qabul qilinadi:

$$d_{BE} = 75 \text{ mm}$$

9.5 Sarf uzluksiz taqsimlangan quvurlarning gidravlik hisobi Sarf uzluksiz taqsimlangan quvurlar



Egiluvchan quvurlar orqali soʻgʻorish

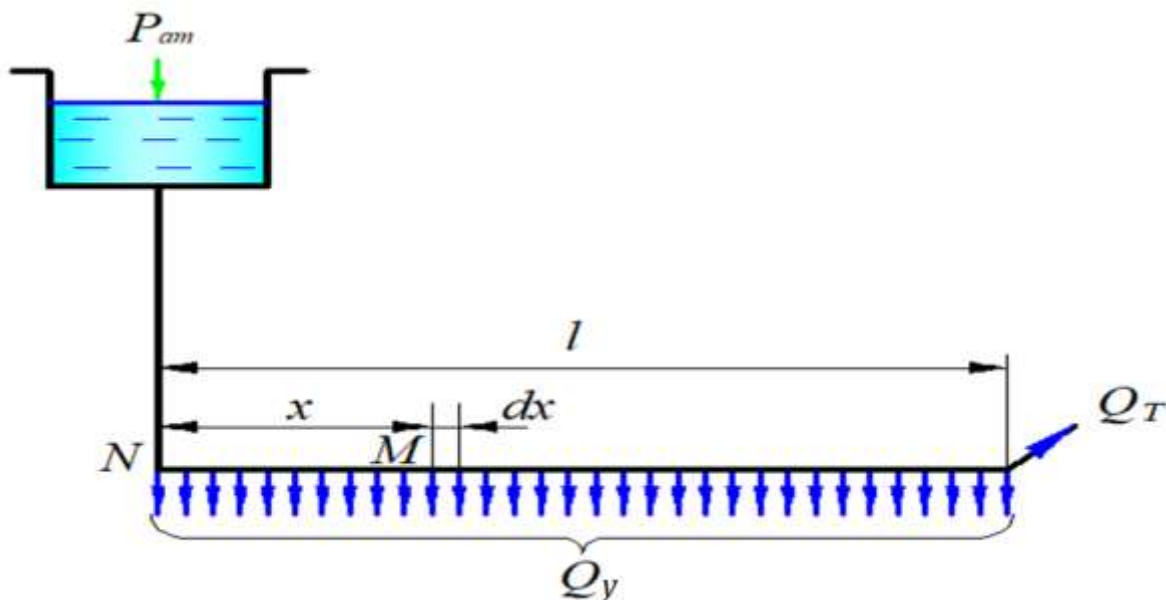




Yomg'irlatib sug'orish tizimi



Tomchilatib sug'orish tizimi



9.12-rasm. Sarf uzluksiz taqsimlangan quvur sxemasi

1. Quvurning uzunligi bo'yicha, biron bir x masofada M nuqtani belgilab olamiz. M nuqtadagi sarf tizim boshidagi sarfdan kam bo'ladi:

$$Q_m = Q_t + Q_u - \frac{Q_u}{l} x \quad (9.49)$$

2. Oqim tekis harakati uchun gidravlik nishablikni quyidagicha yozamiz:

$$J = \frac{Q^2}{K^2} = \frac{H}{l} \quad (9.50)$$

3. (9.50) formuladan foydalanib quvurdagi x masofadagi (M) nuqta uchun gidravlik nishablikni aniqlaymiz:

$$J_m = \frac{Q_m^2}{K^2} = \frac{(Q_t + Q_u - \frac{Q_u}{l} x)^2}{K^2} \quad (9.51)$$

4. (dx) masofada yo'qolgan naporni quyidagicha yozamiz:

$$dH = J dx = \left[\frac{(Q_t + Q_u)^2}{K^2} - \frac{2Q_u}{lK^2} (Q_t + Q_u)x + \frac{Q_u^2}{l^2 K^2} x^2 \right] dx \quad (9.52)$$

5. (9.52) Tenglamani integrallaymiz:

$$\int dH = \int_0^l \left(\frac{(Q_t + Q_u)^2}{K^2} - \frac{2Q_u}{lK^2} (Q_t + Q_u)x + \frac{Q_u^2}{l^2 K^2} x^2 \right) dx \quad (9.53)$$

6. Sarf uzluksiz taqsimlangan quvurning gidravlik hisoblash formulasini quyidagicha yozamiz:

$$H = \frac{1}{K^2} \left(Q_t^2 + Q_t Q_u + \frac{1}{3} Q_u^2 \right) \quad (9.54)$$

Agar tranzit sarf $Q_t = 0$ bo'lsa:

$$H = \frac{1}{3} \frac{Q_u^2}{K^2} \quad (9.55)$$

6. (9.54) tenglamadan hisobiy suv sarfini aniqlaymiz:

$$\left(Q_t^2 + Q_t Q_u + \frac{1}{3} Q_u^2 \right) \approx (Q_t + 0,55 Q_u)^2 \quad (9.56)$$

$$Q_h = Q_t + 0,55 Q_u \quad (9.57)$$

Agar $Q_t = 0$ bo'lsa, $Q_h = 0,55 Q_u$;

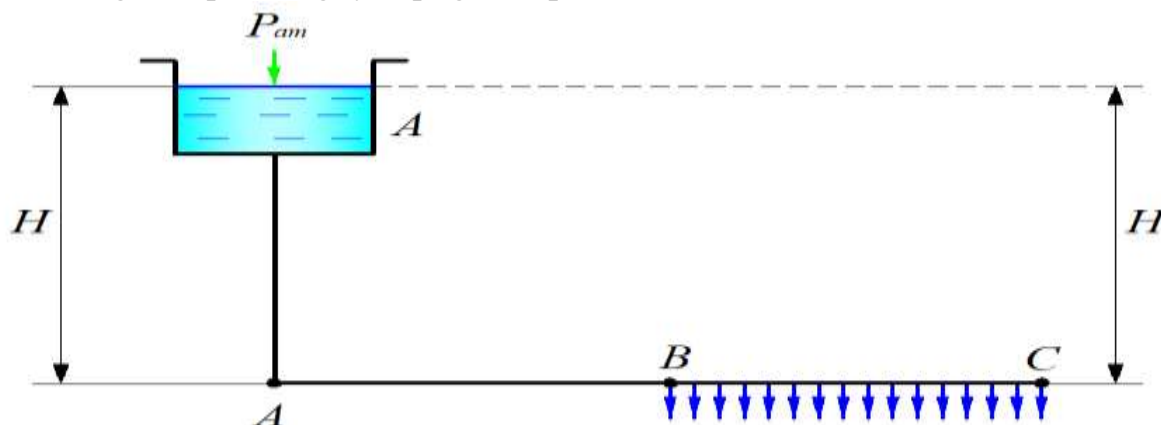
Agar $Q_u = 0$ bo'lsa, $Q_h = Q_t$

7. (9.57) formulani (9.54) ifodaga qo'yib, quyidagi ifodani yozamiz:

$$H = \frac{Q_h^2}{K^2} = k_v \frac{Q_h^2}{K_{kv}^2} \quad (9.58)$$

1-masala

Quvurning VS qismida suv uzluksiz taqsimlangan. Quvurdan o'tayotgan suv sarfi $Q=12$ l/s. Quvur diametri $d=125$ mm, quvur AV qismining uzunligi $l_{AV} = 510$ m, VS qismining uzunligi $l_{VS} = 340$ m, quvur materiali po'lat. Aniqlash kerak: Quvurning AS qismidagi yo'qolgan naporni – H?



9.13-rasm. Uzun quvur va sarf uzluksiz taqsimlangan quvurlar ketma ket ulangan

Yechish tartibi

2. Quvurning AS qismida yo'qolgan napor AB va BC qismida yo'qolgan naporlar yig'indisiga teng:

$$N_{AC} = N_{AB} + N_{BC}$$

3. Quvur diametri va materialiga bog'liq ravishda, sarf modulini (K^2) F.Shevelev jadvalidan (www.gidravlika-obi-life.zn.uz) "Gidravlika va gidroinformatika" kafedrasidan olish mumkin:

Po'lat quvur: $d=125$ mm $K^2 = 0,009485 \frac{m^6}{s^2}$

3. Uzun quvurlar va sarf uzluksiz taqsimlangan quvurlar formulasidan foydalanamiz:

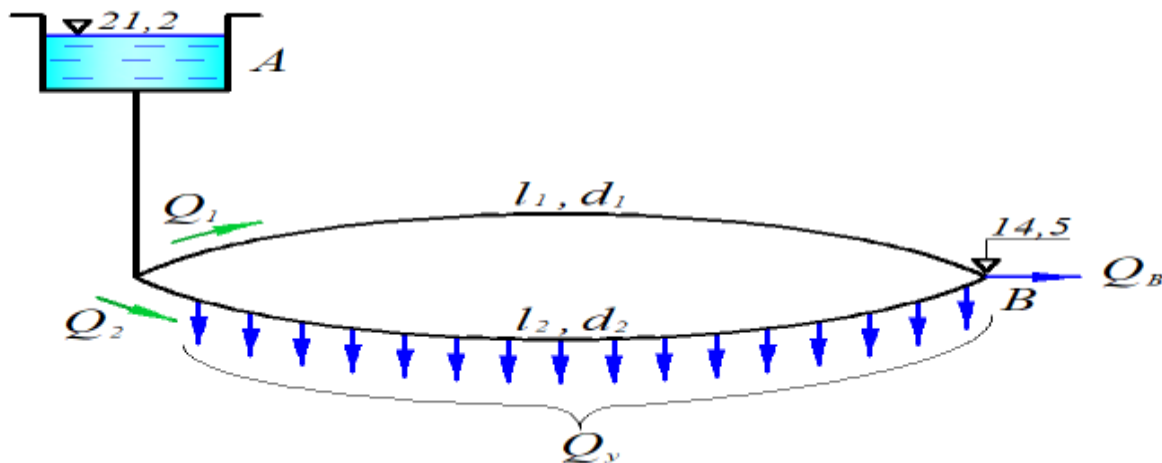
$$a) H_{AB} = \frac{Q^2 l_{AB}}{K^2} \quad b) H_{BC} = \frac{1}{3} \frac{Q^2 l_{BC}}{K^2}$$

$$H_{AC} = H_{AB} + H_{BC} = \frac{Q^2 l_{AB}}{K^2} + \frac{1}{3} \frac{Q^2 l_{BC}}{K^2} = \left(l_{AB} + \frac{l_{BC}}{3} \right) \frac{Q^2}{K^2} = \left(510 + \frac{340}{3} \right) \frac{0,012^2}{0,009485} = 9,46 \text{ m}$$

Javob: $H=9,46$ m

2-masala

Suv A rezervuardan ikkita parallel ulangan quvurlar orqali o'zatilmoqda. Quvurlarning birida suv uzluksiz taqsimlangan bo'lib, suv sarfi $Q_y = 23$ l/s. B-nuqtaga yetib borgan suv sarfi Q_B ga teng. B - nuqta 14 m balandlikda joylashgan. A – rezervardagi suv sathining balandligi 21 m. Quvurlar materiali po'lat. Quvurlar uzunliklari: $l_1 = 620$ m, $l_2 = 700$ m. Diametrlari: $d_1 = 150$ mm, $d_2 = 200$ mm. Oqim harakatlanish sohasi kvadrat qarshilik sohada deb hisoblansin.



9.14-rasm. Uzun quvur va sarf uzluksiz taqsimlangan quvurlar parallel ulangan

Aniqlash kerak:

- I. B-nuqtadagi suv sarfini Q_B ;
- II. B-nuqtadagi sarfni 2 marotaba oshirish uchun A - rezervuardagi suv sathi qancha bo‘lishi lozim? ($Q_y = \text{const}$)

Yechish tartibi

I qism uchun:

- 1. B - nuqtadagi sarfni quyidagicha aniqlaymiz:

$$Q_B = Q_1 + Q_T \quad (1)$$

- 2. Birinchi quvurdagi sarfni uzun quvurlarni hisoblash formulasidan aniqlaymiz. Quvur diametri va materialiga bog‘liq ravishda, sarf modulini (K) F.Shevelev jadvalidan (www.gidravlika-obi-life.zn.uz “Gidravlika va gidroinformatika” kafedrası saytidan) olish mumkin:

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{H}{l_1}} = 158,4 \sqrt{\frac{7}{620}} = 16,8 \text{ l/s} \quad (2)$$

- 3. Sarf uzluksiz tarqalgan 2 – quvurda sarf $Q_2 = Q_t + 0,55Q_y$ inobatga olib Q_T ni quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$H = \frac{Q_2^2 l_2}{K_2^2} = \frac{(Q_t + 0,55Q_y)^2 l_2}{K_2^2} \quad (3)$$

$$Q_t = K_2 \sqrt{\frac{N}{l_2}} - 0,55Q_y = 345 \sqrt{\frac{7}{700}} - 0,55 * 23 = 34,5 \text{ l/s} \quad (4)$$

- 3. V - nuqtadagi sarfni hisoblaymiz:

$$Q_B = Q_1 + Q_T = 16,8 + 34,5 = 51,3 \text{ l/s} \quad (5)$$

II qism uchun:

- 4. B - nuqtadagi sarf 2 marotaba oshirilsa:

$$Q_B = 2 * 51,3 = 102,6 \text{ l/s}$$

- 5. Birinchi quvurdan o‘tayotgan sarfni aniqlaymiz:

$$Q_1 = Q_B - Q_t \quad (6)$$

- 6. Quvurlarda yo‘qolgan napor bir xilligini inobatga olib:

$$\frac{(Q_t + 0,55Q_y)^2}{K_2^2} l_2 = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1 \quad \frac{(Q_t + 0,55Q_y)^2}{K_2^2} l_2 = \frac{(Q_B - Q_t)^2}{K_1^2} l_1 \quad (7)$$

- (6) tenglamaga berilgan va aniqlangan qiymatlarni qo‘yib:

$$\frac{(Q_t + 0,55 * 23)^2}{345^2} 700 = \frac{(102,6 - Q_t)^2}{158,4^2} 620 \quad (8)$$

(7) tenglamadagi Q_t qiymatini hisoblaymiz: $Q_t = 64,81/s$

7. Birinchi quvurdan o'tayotgan sarf:

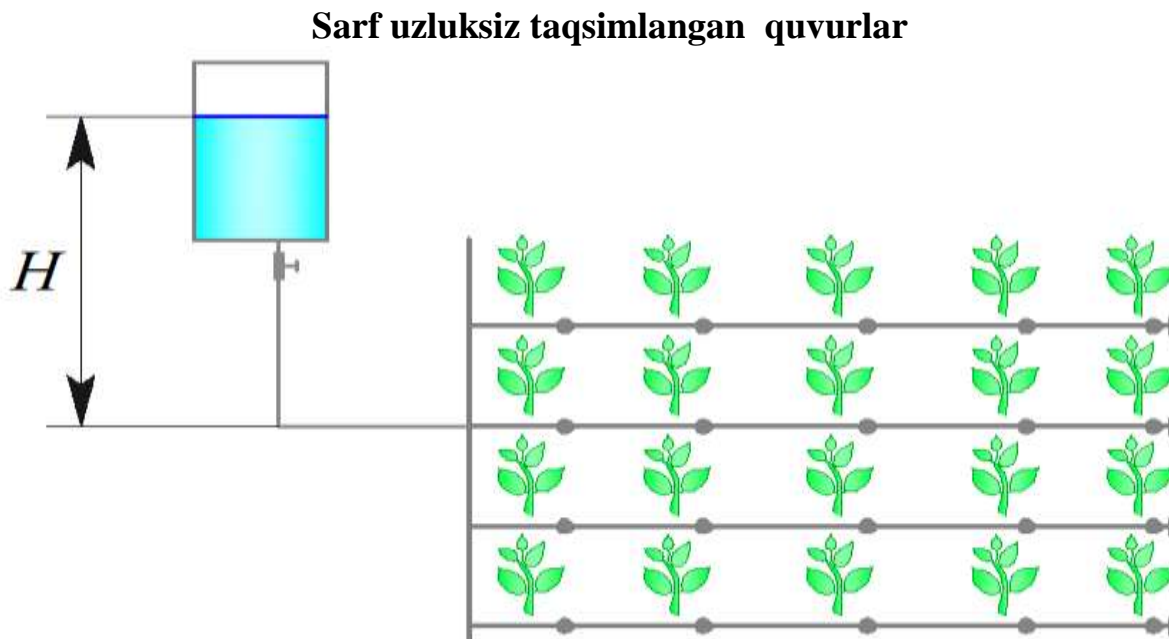
$$Q_1 = Q_B - Q_t = 102,6 - 64,8 = 37,8 \text{ l/s}$$

8. Yo'qolgan naporni aniqlaymiz:

$$H = \frac{Q_1^2 l_1}{K_1^2} = \frac{0,0378^2 \cdot 620}{0,1584^2} = 35,3 \text{ m} \quad (9)$$

9. A-rezervuardagi suv sathining balandligini hisoblaymiz:

$$H_A = 14 + 35,3 = 49,3 \text{ m}$$



9.15-rasm. Tomchilatib sug'orish sxemasi

Tomchilatib sug'orishda quvurlarni hisoblash tartibi

1. Suv sarfi va oqim tezligi asosida quvur diametri aniqlanadi:

a) suv sarfi quyidagicha aniqlanadi (1-usul):

$$Q_i = \frac{q \cdot S}{T} \quad (1)$$

bu yerda:

Q_i - qaralayotgan uchastkadagi (9.15-rasm, 2) suv sarfi, $\frac{m^3}{soat}$;

S - rejalashtirilgan sug'orish maydoni, ga;

T – bir sutkada rejalashtirilgan sug'orish vaqti, 16-20 soat;

q - sug'orish normasi, ekin turiga qarab aniqlanadi, $\frac{m^3}{ga}$.

a) Suv sarfi quyidagicha aniqlanishi ham tavsiya etiladi (2-usul):

$$Q_i = \frac{q_0 \cdot l_t}{v} \quad (1)$$

bu yerda:

Q_i - qaralayotgan uchastkadagi (9.15-rasm, 2) suv sarfi, $\frac{m^3}{soat}$;

l_t - taqsimlagich quvur uzunligi, m;

v - sug'orish quvurlari orasidagi masofa, m ;

Q_o - sug'orish quvurining (9.15-rasm, 3) boshlang'ich qismidagi sarf, $\frac{m^3}{soat}$:

$$Q_o = q_t n_1 n_2 \quad (2)$$

q_t - tomchilatgich sarfi, $\frac{m^3}{soat}$;

n_1 - har bir ko'chatga quyilgan tomchilatgichlar soni;

n_2 - kuchatlar soni.

b) Quvur diametri quyidagicha aniqlanadi:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{Q_i}{3600 \cdot \vartheta}} \quad (2)$$

bu yerda: ϑ - iqtisodiy qulay oqim tezligi, $\vartheta = 0,9 - 1,9$ m/s oraliqda qabul qilinadi.

s) Aniqlangan diametrning standart qiymati qabul qilinadi (D_{st}).

d) Standart diametr bo'yicha quvurdagi haqiqiy tezlik aniqlanadi:

$$\vartheta_h = \frac{Q_i}{\omega} \quad (3)$$

bu yerda:

Q_i - hisobiy suv sarfi;

ω - oqim harakat kesim yuzasi, m^2 ;

$$\omega = \frac{\pi D_{st}^2}{4} \quad (4)$$

2. Har bir uchastkada napor yuqolishi aniqlanadi:

$$H_i = k_v A_{kv} Q^2 l_m + \frac{1}{3} \frac{Q_i^2 l_t}{K^2} \quad (5)$$

bu yerda:

k_v - tuzatish koeffitsienti;

A_{kv} - quvurning solishtirma qarshiligi, $\frac{c^2}{m^6}$;

l_m, l_t - quvurlarning hisobiy uzunliklari, m;

3. Umumiy yo'qolgan napor aniqlanadi va tizim uchun zaruriy napor hisoblanadi:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i \quad (6)$$

4. Tizimdagi umumiy napor elementlarini qo'yidagicha ifodalaymiz:

$$H = H_1 + H_m + H_g + h_i \quad (6)$$

bu yerda: H_1 - tizimda quvurlarning uzunligi bo'yicha yuqolgan napor, m;

H_m - mahalliy qarshiliklarda yuqolgan napor, $H_m = 0,1 H_1$ m;

H_g - geodezik napor, m;

h_i - tomchilatgichdagi ishchi napor, m.

5. Umumiy yo'qolgan napor va sarf asosida nasos tanlanadi. Eksploatatsion xarajatlarni baholash uchun, nasos quvvati aniqlanadi:

$$N = \frac{\gamma Q N}{\eta 3600}, \text{ kvt} \quad (7)$$

9.6 Nasosdan ta'minlanuvchi quvur

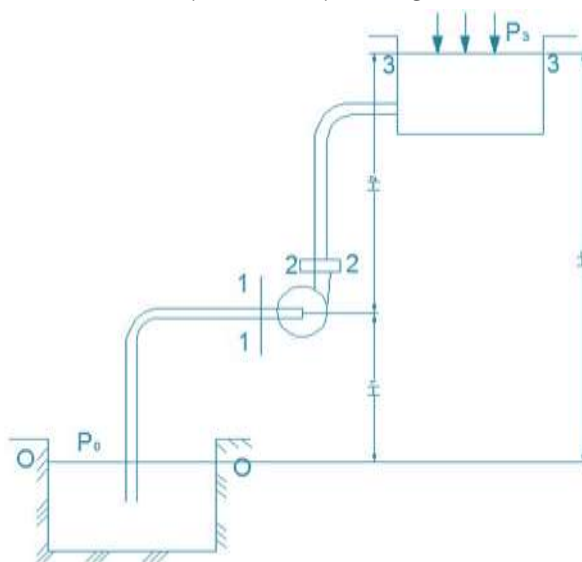
Yuqorida biz turli usulda ulangan quvurlar sistemasini ko'rdik, biroq ularning suv bilan ta'minlanishi qanday amalga oshirilishi haqida to'xtalib

o`tmadik. Bunday hol balandlikka o`rnatilgan katta idishdan ta'minlanuvchi quvurlar sistemasi uchun yoki nasosdan ta'minlanuvchi sistemalarning qismlari uchun o`rinli. Sanoat va qishloq xo`jaligida quvurlarni nasos orqali ta'minlash hollari ko`p uchrab turadi. Bu holda quvurlar sistemasidagi bosim ustiga nasos hosil qilgan bosimni ham qo`shish kerak bo`ladi. Shu maqsadda nasosdan ta'minlanuvchi sodda quvurlarni (9.16 - 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 kuchlanish geometrik balandligi deyiladi va suyuqlikni bu balandlikka ko`tarishda qatnashuvchi quvur haydash (nagnetatelnaya ili napornaya) quvuri deyiladi.

So`rish quvuri uchun ($0 - 0$ va $1 - 1$ kesimlar uchun) Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{p_0}{\gamma} = H_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_{0-1} \quad (9.59)$$



9.16 - rasm. Nasosdan ta'minlanuvchi quvurga oid chizma.

Bu tenglamadan ko`rinadiki, nasosning suyuqlikni H_1 balandlikka ko`tarish, unga kinetik energiya berishi va gidravlik qarshiliklarni yengishi birinchi idishdagi p_0 bosimdan foydalanish hisobiga amalga oshiriladi. Shuning uchun bu bosimdan shunday foydalanish kerakki, nasosga kirish oldidan suyuqlikda kavitatsiya hodisasini vujudga keltirmaydigan darajadagi chegirma bosim (p_1) saqlanib qolsin. Bu nasoslarning so`rish quvurlarini nihoyatda aniq va puxta hisoblash kerak. (9.59) tenglama so`rish quvurlarini hisoblashda asosiy tenglama hisoblanadi. Bunda hal qilinishi kerak bo`lgan masalalar sifatida quyidagilarni keltirish mumkin.

1) barcha o`lchamlar va sarf berilgan. Suyuqlikning nasosga kirish oldidagi bosimni hisoblash kerak.

Bu masalani yechishda nasosga kirishdagi suyuqlik bosimini (p_1) hisoblab, uni kavitatsiya hosil qilmaydigan minimal bosim bilan taqqoslash yo`li bilan bajariladi.

2) eng kichik (kavitatsiya hosil qilmaydigan) joiz bosim berilgan. Boshqa parametrlarning eng katta joiz qiymatlari ($H_1 \max$, Q_{\max} , d_{\min}) ni hisoblash talab qilinadi.

Agar p_0 atmosfera bosimiga teng bo`lsa, u holda so`rish quvuridagi bosim atmosfera bosimidan kichik bo`ladi. p_0 bosimning ortishi bilan so`rish quvuridagi bosim ortadi. Bu esa geometrik so`rish balandligining ortishiga yordam beradi.

Haydash quvuridagi suyuqlikning harakati (2 – 2 va 3 – 3 kesimi uchun ham Bernulli tenglamasini yozish mumkin.

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = H_2 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + h_{2-3} \quad (9.60)$$

Agar haydash quvurining ikkinchi uchidan biror idish bo`lsa, u holda (9.60) tenglamaning o`ng tomonida tezlik bosim bo`lmaydi, lekin bunday harakat vaqtida bosimning kengayishga sarf bo`lishini hisobga olish kerak. (9.60) tenglamaning chap tomoni nasosdan chiqishdagi solishtirma energiyani ko`rsatadi. Nasosga kirishdagi solishtirma energiyani (9.59) tenglama yordamida hisoblash mumkin:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_0}{\gamma} - H_1 - h_{0-1} \quad (9.61)$$

Bu oxirgi tenglama va (9.60) dan foydalanib suyuqlikning nasosdan o`tganda oladigan energiyasini hisoblash mumkin. Bu energiya suyuqlikka nasos orqali beriladi va u suyuqlikni tegishli balandlikka ko`tarish uchun sarflangan energiyani ifodalab, H_{nas} ko`rinishida belgilanadi va quyidagicha hisoblanadi:

$$H_{\text{nac}} = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) = H_1 + H_2 + \frac{p_3 - p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + h_{0-1} + h_{2-3}$$

yoki

$$H_{\text{nac}} = H_g + \frac{p_3 - p_0}{\gamma} + cQ^2 + \alpha Q^2 \quad (9.62)$$

bu yerda: H_g - suyuqlikning pastki sathdan yuqori sathga ko`tarilish balandligi; sQ^2 - yuqori sathdagi tezlik bosimi; αQ^2 - so`rish va haydash quvurlardagi qarshiliklar yig`indisi; V_3 - yuqori sathdagi tezlik. Agar pastki va yuqori sathlardagi bosimlar p_0 va p_3 atmosfera bosimiga teng bo`lsa, u holda

$$H_{\text{nac}} = H_g + cQ^2 + \alpha Q^2 = H_g + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + \alpha Q^2$$

bo`ladi. Bu formuladan ko`rinadiki, suyuqlikka nasosning bergan bosimi suyuqlikni yuqori sathda harakat qildirish uchun zarur bo`lgan bosim H_3 ga teng bo`ladi:

$$H_{\text{nac}} = H_3 \quad (9.63)$$

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 (9.62) formula o`rnida quyidagi formulaga ega bo`lamiz:

$$H_{\text{nac}} = H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} = H_3.$$

ya'ni zarur bosim bilan nasos hosil qilgan bosim teng bo`ladi. Bu holda yopiq sistemada albatta qo`shimcha kengayuvchi kesim va tenglashtiruvchi idishlar bo`lib, ular odatda suyuqlikning nasosdan chiqish kesimi bilan tutashtirilgan bo`ladi.

9.7 Elektrogidravlik o`xshashlik (analogiya) haqida tushuncha

Biz yuqorida quvurlarni hisoblash uchun (9.4) va (9.10) tenglamalarni chiqardik va ularni quyidagi ko`rinishlarda ifodaladik:

$$H = \lambda \frac{8(l + l_{ekv})}{g\pi^2 D^5} Q^2 \quad (9.64)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g\pi^2 D^5}{8\lambda(l + l_{ekv})}} H. \quad (9.65)$$

Laminar harakat vaqtida bu formulalarda qovushqoqlik ishqalanish koeffitsiyenti λ quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64\nu}{9D} = \frac{16\nu\pi D}{Q},$$

u holda

$$H = \frac{128\nu}{gD^2} = \frac{l + l_{ekv}}{\pi D^2} Q$$

yoki

$$H = \alpha \frac{L}{\omega} Q = BQ \quad (9.66)$$

$$\text{bu yerda: } L = l + l_{e3kv}; \quad \omega = \frac{\pi D}{4}; \quad \alpha = \frac{32\nu}{gD^2}.$$

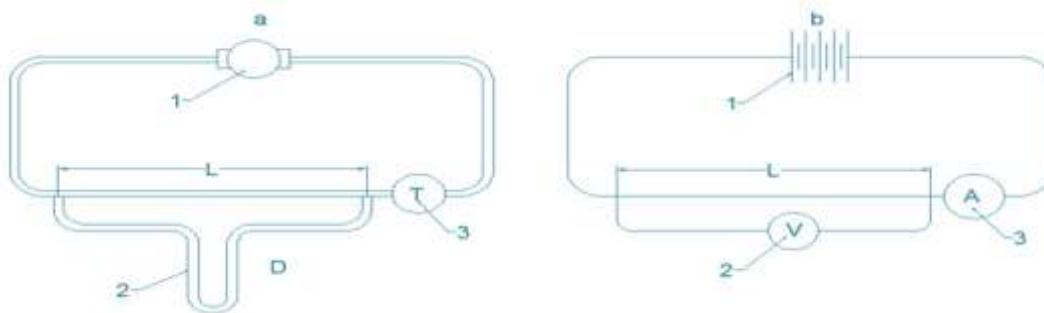
B - hisoblash yo`li bilan aniqlanadigan koeffitsiyent. (9.66) tenglama fizikaning elektr bo`limida o`tkazgichlarning bir qismi uchun Om qonuniga juda o`xshab ketadi. Agar bosim H ni kuchlanish U ga, α ni solishtirma qarshilik ρ ga, sarf Q ni tok kuchi I ga qiyoslasak, u holda (9.66) ni Om qonuni

$$U = \rho \frac{L}{S} I = RI \quad (9.67)$$

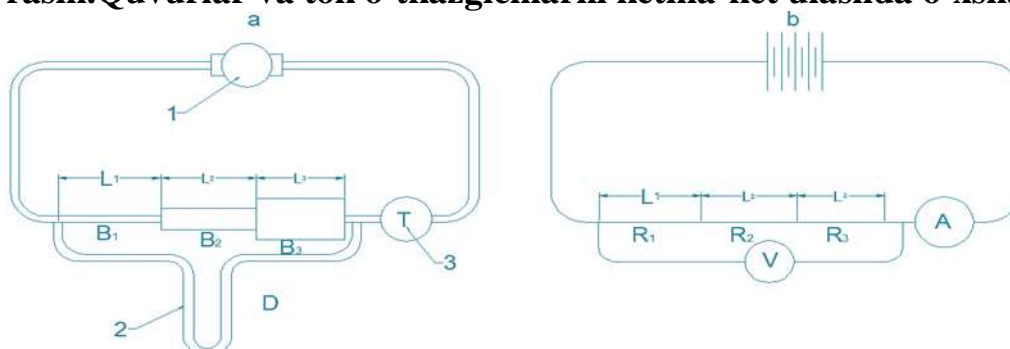
ga qiyoslash mumkin.

(9.66) bilan (9.67) ning o`xshashligidan foydalanib 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 voltmeter quvurlardagi difmanometrni, ampermetr esa sarf o`lchash asbobi o`rnini bosadi (9.17 - rasm). Tok manbai sifatida esa energiya manbai nasosni ifodalash mumkin.

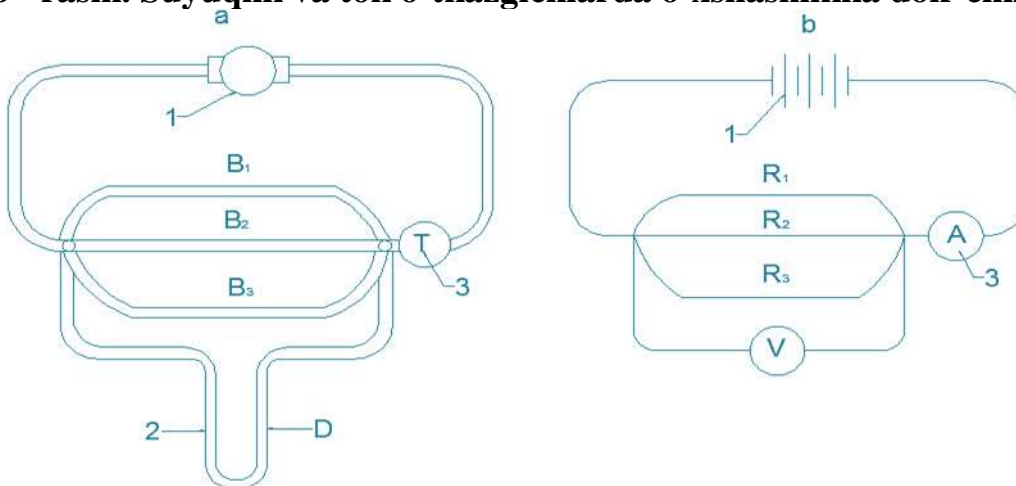
9.17 - rasmda 1-manba (a - rasmda nasos, b - rasmda batareya), 2 - (a - rasmda difmanometr, b - rasmda voltmeter, 3 - (a - rasmda sarf o`lchash asbobi, b - rasmda ampermetr) ifodalangan bo`lib, quvur va o`tkazgich uzunliklari L orqali ifodalangan. Shu usul bilan quvurlarni ketma-ket (9.17 - rasm) va parallel (9.18-rasm) ulashni o`tkazgichlarni ketma-ket va parallel ulash bilan taqqoslash mumkin. Quvurlarni ketma-ket ulashda (9.17 - rasm) umumiy qarshilik.



9.17 - rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni ketma-ket ulashda o'xshashlik.



9.18 - rasm. Suyuqlik va tok o'tkazgichlarda o'xshashlikka doir chizma.



9.19 - rasm. Quvurlar va tok o'tkazgichlarni parallel ulashdagi o'xshashlik.

$$H_k = B_k Q$$

$$H_k = H_1 + H_2 + H_3 \quad (9.68)$$

va

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

bo'lib, (9.68) da

$$B_k = B_1 + B_2 + B_3$$

O'tkazgichlar uchun esa

$$U_k = R_k$$

$$U_k = U_1 + U_2 + U_3 \quad (9.69)$$

va

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

bo'lib, (9.69) da

$$R_k = R_1 + R_2 + R_3$$

Quvurlarni parallel ulashda esa (9.17-rasm) umumiy qarshilik

$$H = B_n Q_n \quad (9.70)$$

$$H = H_1 = H_2 = H_3$$

va

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

bo`lib, (9.70) da

$$\frac{1}{B_n} = \frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \frac{1}{B_3}$$

o`tkazgichlar uchun esa

$$U = R_n I_n \quad (9.71)$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

va

$$\frac{1}{I_n} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} + \frac{1}{I_3}$$

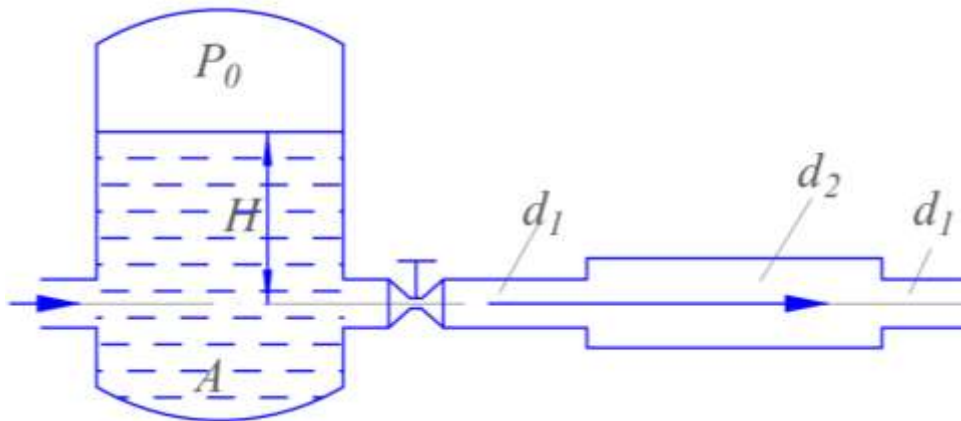
bo`lib, (9.71) da

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Bu qonuniyatlar quvurlarni va o`tkazgichlarni parallel hamda ketma-ket ulashdagi o`xshashlikni ko`rsatadi.

Amaliy mashg`ulotlarga doir ko`rsatma:

Masala. Berilgan quvurlar tizimi orqali, rezervuardan atmosferaga oqib chiqayotgan suv sarfining miqdorini aniqlash lozim bo`lsin (9.20-rasm).



9.20 - rasm.

Quvurlarning diametrlari, uzunligi va materiali ($\Delta; \lambda$) ma`lum bo`lib, quyidagi qiymatlarga ega bo`lsin:

$$d_1 = 150 \text{ mm}; \quad d_2 = 200 \text{ mm}; \quad d_3 = 250 \text{ mm}; \quad l_1 = 20 \text{ m} \quad l_2 = l_3 = 15 \text{ m};$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0,02 \quad H = 3,0 \text{ m};$$

$$\text{Jo`mrakning qarshilik koeffitsiyenti } \xi = 0,4;$$

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:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \mathcal{G}_1^2}{2g} = Z_1 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \mathcal{G}_2^2}{2g} + h_f$$

4) Tenglamalardagi hadlarni aniqlaymiz:

$$Z_1 = H; P_1 = P_a; \mathcal{G}_1 = 0; \alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

$$Z_2 = 0; P_2 = P_a; \mathcal{G}_2 = ?$$

5) Aniqlangan hadlarni tenglamaga qo'yamiz:

$$H + \frac{P_a}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} + h_f$$

bu yerdan:

$$H = \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} + h_f$$

Endi quvurlar tizimida yo'qolgan dam – h_f miqdorini aniqlaymiz:

Ma'lumki,

$$h_f = \sum h_e + \sum h_M$$

Quvur uzunligi bo'ylab yo'qolgan dam Darsi-Veysbax formulasi bo'yicha:

$$\sum h_e = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} = \frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \frac{\mathcal{G}_1^2}{2g} + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \frac{\mathcal{G}_3^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasidan

$$\mathcal{G}_1 \omega_1 = \mathcal{G}_2 \omega_2 = \mathcal{G}_3 \omega_3$$

$$\mathcal{G}_1 = \frac{\omega_3}{\omega_1} \mathcal{G}_3; \mathcal{G}_2 = \frac{\omega_3}{\omega_2} \mathcal{G}_3$$

ekanligidan foydalanib, hamda $\mathcal{G}_3 = \mathcal{G}_2$

$$\sum h_e = \left[\frac{\lambda_1 l_1}{d_1} \left(\frac{\omega_3}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\lambda_2 l_2}{d_2} \left(\frac{\omega_3}{\omega_2} \right)^2 + \frac{\lambda_3 l_3}{d_3} \right] \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g}$$

yoki

$$\sum h_e = \xi_1 \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g}$$

Mahalliy qarshiliklarda damning yo'qolishi ko'rilayotgan misolda, quyidagi joylarda sodir bo'ladi: quvurning kirish qismida – (ξ_1); keskin kengayishda – (ξ_2); keskin torayishda – (ξ_3); berkitgichda – (ξ_4).

U holda

$$\sum h_M = \xi_1 \frac{\mathcal{G}_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} + \xi_3 \frac{\mathcal{G}_3^2}{2g} + \xi_4 \frac{\mathcal{G}_4^2}{2g}$$

Uzilmaslik tenglamasidan va $\mathcal{G}_3 = \mathcal{G}_2$ ekanligidan foydalanib

$$\sum h_M = \xi_1 \frac{\mathcal{G}_1^2}{2g} + \xi_2 \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} + \xi_3 \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} + \xi_4 \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g}$$

Yoki

$$\sum h_M = \xi_M \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g}$$

Jadvaldan mahalliy qarshilik qiymatlarini olib, ξ_M ni hisoblaymiz. Tizimda yo‘qolgan dam uchun quyidagi ifodani olamiz.

$$hf = \xi_M \frac{g_2^2}{2g} + \xi_1 \frac{g_2^2}{2g} = (\xi_M + \xi_1) \frac{g_2^2}{2g}$$

Yoki

$$hf = \xi_s \frac{g_2^2}{2g} \quad (5)$$

bu yerda: ξ_s – tizimning qarshilik koeffitsiyenti.

(5) ifodani (2) ga qo‘yib

$$H = \frac{g_2^2}{2g} + \xi_s \frac{g_2^2}{2g}$$

bu yerdan

$$g_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_s}} \sqrt{2gH}$$

Yoki

$$g_2 = \varphi \sqrt{2gH};$$

bu yerda: φ – tezlik koeffitsiyenti.

U holda quvurlar tizimi orqali oqib chiqayotgan sarf

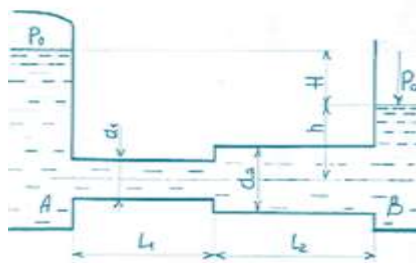
$$Q = \mu \omega_3 \sqrt{2gH} = 0,17 \cdot \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 0,06 \text{ m}^3 / \text{s}$$

bu yerda: μ – sarf koeffitsiyenti.

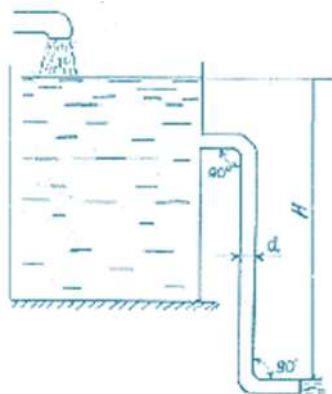
Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Suv bir rezervuardan ikkinchisiga ketma-ket ulangan ikkita quvurlar orqali uzatiladi. Quvurlarning diametri va uzunligi mos ravishda $d_1 = 150$ mm; $l_1 = 25$ m; $d_2 = 200$ mm; $l_2 = 35$ m; gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,03$. Agar $H_1 = 3,0$ m; $H_2 = 10$ m; $P_M = 20$ kPa bo‘lsa, quvurdagi suv sarfi – Q ni aniqlang. Pezometrik va dam (napor) chiziqlarini chizing (9.21-rasm).

2. Rezervuarga quyilayotgan sarf $Q = 0,05$ m³/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 (9.22-rasm).

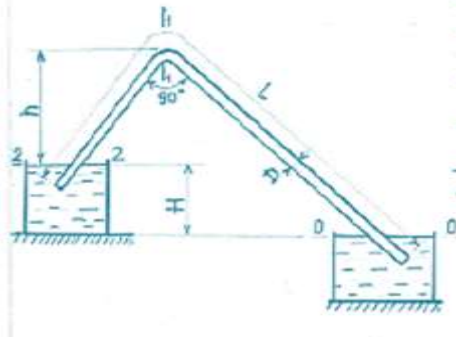


9.21 - rasm.



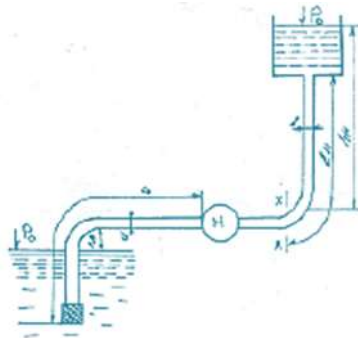
9.22 - rasm.

3. Magistral kanaldan novga harorati $t = 20^{\circ}\text{C}$ suv po'lat sifon orqali uzatiladi. Sifonning diametri $D = 30 \text{ mm}$: uzunligi m , sarfi $Q = 0,5 \text{ l/s}$, $h = 4,0 \text{ m}$ bo'lsa, kanal va novdagi suvlar sathining farqini aniqlang (9.23-rasm).



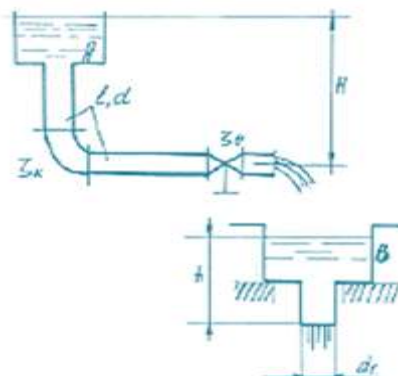
9.23 - rasm.

4. Markazdan qochma nasos harorati $t = 20^{\circ}\text{C}$ suvni diametri $d = 100 \text{ mm}$ va uzunligi m li po'lat quvur orqali $N = 30 \text{ m}$ balandlikka uzatmoqda. Agar $x-x$ kesimdagi bosim $P_x = 0,2 \text{ mPa}$ bo'lsa quvurdagi suv sarfini aniqlang (9.24-rasm).



9.24 - rasm.

5. Suv A-rezervuardan B-rezervuarga diametri $d = 80 \text{ mm}$ va uzunligi $l = 10 \text{ m}$ quvur orqali uzatiladi. B-rezervuardan suv naycha orqali (sarf koeffitsiyenti $\mu = 0,82$) atmosferaga oqib chiqmoqda. Agar B-rezervuardagi suyuqlik sathi $h = 2,0 \text{ m}$ bo'lsa, gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti $\lambda = 0,03$; burilish va jo'mrakning qarshilik koeffitsiyentlari: $\xi_1 = 0,4$; $\xi_2 = 3,0$ bo'lsa, A-rezervuarda qanday dam (napor) H bo'lishi kerak (9.25-rasm)



9.25 - rasm.

9. 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.

9-bo'lim ikkinchi qism.
SUYUQLIKLARNING TESHİK VA NAYCHALARDAN
OQISHI

Texnikada juda ko`p hollarda suyuqliklarning tor va kalta naychalardan hamda teshiklardan oqish hollarini uchratish mumkin. Bu holning o`ziga hos hususiyati shundan iboratki, biror katta idishdagi suyuqliklarning potentsial energiyasi teshikdan chiqishda oqimchanning kinetik energiyasiga aylanadi. Albatta bu holda energiyaning bir qismi qarshiliklarni yengishga sarf bo`ladi. Bunday voqeani gidrouzatmalarda moylarning gidrosilindrlardan bosim ostida oqib chiqishi, yoqilg`ining yonish kamerasiga oqib o`tish va hokazolarda uchratish mumkin. Odatda bu masalalarni yechishda oqim fizikasiga bog`liq shartlar kiritiladi.



Tirqish orqali maydonni sug'orish



Naycha orqali maydonni sug'orish



Tirqish orqali suvning balandlikka ko'tarilishi



Naycha orqali suvning balandlikka ko'tarilishi

9.9.1 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 (10.1 - rasm, a). Diametri idish o'lchamlariga qaraganda juda kichik bo'lgan teshik kichik teshik deb ataladi. Yupqa devor deb oqayotgan suyuqlik teshikning faqat ichki qirrasiga tegib, uning yon sirtiga tegmagan holga aytiladi. Bunday hol devor qalinligi teshik diametridan bir necha barobar kichik bo'lsa yoki teshik kesimining ichki qirrasidan tashqariga kengayib borsagina (9.9.1-rasm, b) o'rinli bo'ladi.

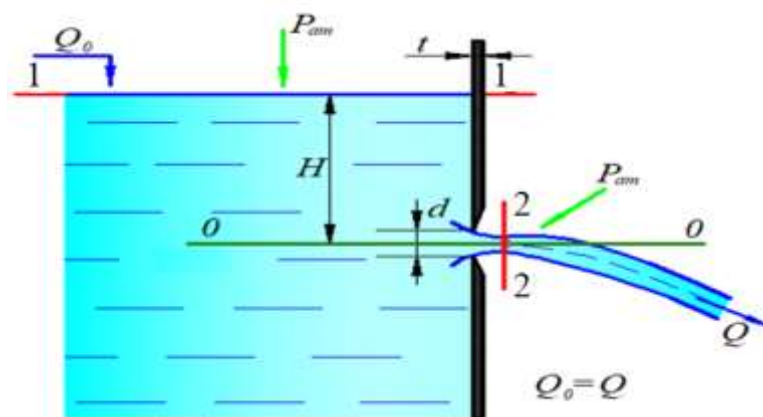
Bu holda suyuqlik zarrachalari teshik atrofidagi hajmdan tashqariga qarab harakat qiladi va teshikka yaqinlashgan sari tezlashib boradi. Shu bilan birga suyuqlikning oqayotgan zarrachalarning barchasi uchun bir xil sharoit bo'lib, ular silliq trayektoriya bo'yicha harakat qiladi va teshik qirrasida idish devoridan ajraladi. Bundan keyingi oqish davomida oqimchanning kesimi bir oz torayadi va silindrik shakl qabul qiladi. Ko'rilayotgan holda asosiy masala teshikdan iborat. Suyuqlikka to'ldirilgan idishda (9.9.1 - rasm, a) yuzasi ω_1 bo'lgan 1-1 (erkin sirt) va ω_2 bo'lgan 2-2 oqayotgan suyuqlik oqimchasining teshik oldidagi kesimlari uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \zeta \frac{g^2}{2g}. \quad (9.9.1)$$

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

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

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



9.9.1 - rasm. Suyuqlikning teshiklaridan oqib ketishiga doir chizma

$$g_n = g_2 \sqrt{\frac{2g \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + H}{1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2}}. \quad (9.9.2)$$

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

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

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

$$g_n = g_2 = \sqrt{2gH}. \quad (9.9.3)$$

Bu formula Torichelli formulasi deb ataladi, u suyuqlikning tor teshikdan oqishi tezlikni hisoblash uchun nazariy formuladir.

Suyuqlikning teshikdan oqish tezligi ma'lum bo`lgan holda sarfni hisoblash qiyin emas

$$Q_n = g_n \omega_2. \quad (9.9.4)$$

Lekin amalda oqimcha teshikdan chiqayotganda uning kesimining torayishi sababli ko`rilayotgan masala biz ko`rgandagiga qaraganda murakkabroq. Shuning uchun biz chiqargan tezlik formulalari tezlik va sarfni nazariy tekshirish uchun qo`l-lanib, amalda esa ularga ma'lum tuzatishlar kiritiladi.

9.9.2 Siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari

Biz yuqorida suyuqlikning teshikdan oqishini ko`rganimizda oqimchanning teshikdagi kesimini olganimiz uchun oqimchanning va teshikning kesimini bir xil deb qaradik. Aslida esa suyuqlik teshikka uning atrofidagi hajmdan har tomonlama oqib kelgani uchun uning tezligi oshib boradi. Suyuqlik oqimi teshikka yaqinlashgan sari torayib boradi va bu jarayon suyuqlik teshikdan o`tgandan keyin ham inertsia kuchi ta'sirida ma'lum masofagacha davom etadi. So`ngra esa torayish to`xtab, oqim o`zgarmas ω_c kesimli oqimcha ko`rinishida harakat qiladi. Oqimchanning torayishi taxminan teshik diametriga teng masofada to`xtaydi. Torayishni hisoblash uchun, odatda siqilish koeffitsiyenti ε kiritiladi

$$\varepsilon = \frac{\omega_e}{\omega_2} \quad (9.9.5)$$

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

Biz teshikdan oqayotgan suyuqlik tezligi uchun formula chiqarishda $\zeta = 0$ deb qabul qilgan edik. Amaldagi tezlikni hisoblash uchun esa (9.9.1) dagi mahalliy qarshilik koeffitsiyenti ζ ni hisobga olgan holda quyidagi formulani olamiz

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

Tor teshiklar uchun esa $\frac{\omega_2}{\omega_1} \ll 1$ bo`lganda sababli $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 \approx 0$ deb hisoblab, quyidagini olamiz:

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

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

$$g_a = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \sqrt{2gH}. \quad (9.9.6)$$

Bu formulani (9.9.3) bilan solishtirsak, amaliy va nazariy tezliklar o'rtasida quyidagi munosabatni olamiz

$$g_a = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} g_n. \quad (9.9.7)$$

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

$$\varphi = \frac{g_a}{g_n} \quad (9.9.8)$$

(9.9.8) ni (9.9.7) bilan solishtirish natijasida tezlik koeffitsiyentini hisoblash uchun ushbu formulaga ega bo'lamiz:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}}. \quad (9.9.9)$$

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.

Tezlik koeffisienti - φ harakat tenglamalari asosida aniqlanadi:

$$\begin{array}{ll} m\ddot{x} = 0 & m\ddot{z} = mg \\ \dot{x} = C_1 & \dot{z} = gt + C_2 \\ x = C_1 t + C_3 & z = \frac{gt^2}{2} + C_2 t + C_4 \end{array}$$

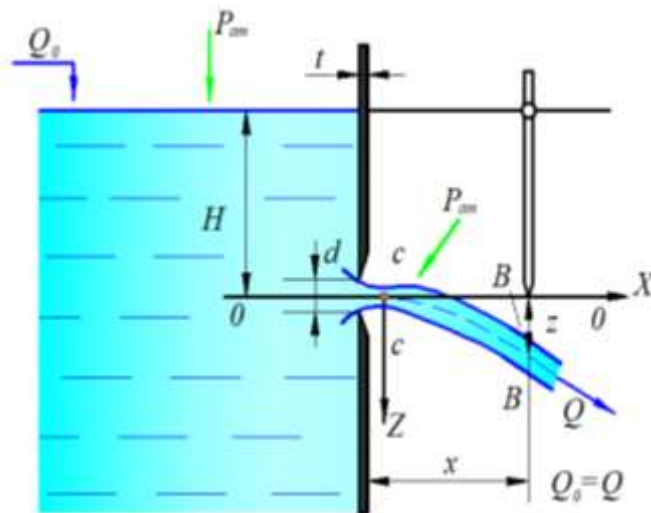
Boshlang'ich shartlardan: $t = 0; x = 0; v_x = v_c; v_z = 0$

$$x = v_c t; \quad z = \frac{gt^2}{2} \quad v_c = x \sqrt{\frac{g}{2z}} \quad v_c = \varphi \sqrt{2gH}$$

Tezlik koeffitsienti: Oqimning chiqish koordinatalari (x) va (z) o'lchanadi, tezlik koeffisienti aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{v_c}{\sqrt{2gH}} = \frac{x}{2\sqrt{zH}}$$

Tajriba natijalari: $Re_H > 10^6; \mu = 0,62; \varphi = 0,97; \varepsilon = 0,64; \xi_T = 0,06$



9.9.2 - rasm. Tezlik koeffitsientini aniqlashga doir chizma

Teshikdan oqayotgan suyuqlikning amaliy sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$Q_a = \mathcal{G}_a \omega_e$$

(9.9.5) dan $\omega_c = \varepsilon \omega_2$ bo'lgani uchun (9.9.8) ni hisobga olib, oxirgi tenglikdan ushbu munosabatni olamiz:

$$Q_a = \varphi \mathcal{G}_n \varepsilon \omega_2 = \varphi \varepsilon \mathcal{G}_n \omega_1$$

Bu so'nggi formulani (9.9.4) bilan solishtirib, nazariy va amaliy sarflar uchun quyidagi bog'lanishni olamiz:

$$Q_a = \varphi \varepsilon Q_n = m \mathcal{G}_n \omega_2. \quad (9.9.10)$$

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

$$m = \varphi \varepsilon \quad (9.9.11)$$

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

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

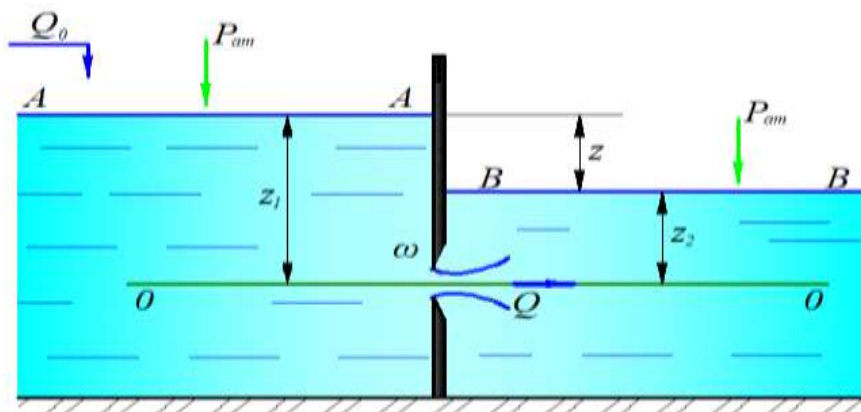
Yuqorida φ va ε uchun keltirilgan tajriba miqdorlaridan $m \approx 0,60 \div 0,63$ ekanligi ma'lum.

Yupqa devordagi kichik tirqishdan oqib chiqayotgan sarfni hisoblash formulasi:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH}$$

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

Ko'milgan tirqishdan o'tayotgan sarf: $Q = \mu \omega \sqrt{2gz}$; $\mu = 0,60 \div 0,62$

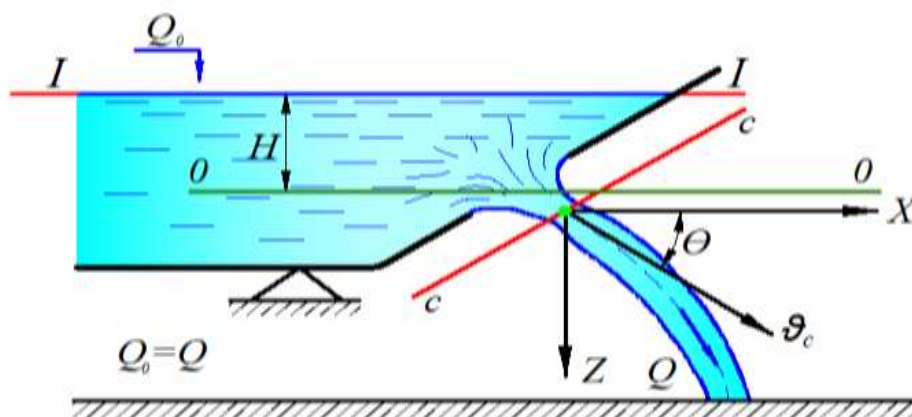


9.9.3-rasm. Ko‘milgan holatda tirqishdan suvning oqib chiqish sxemasi

Lotok (nov) devoriga o‘rnatilgan tirqishdan oqib chiqayotgan sarfni aniqlash:

Oqim tezligi: $\vartheta_c = \varphi \sqrt{2gH \cos \theta}$;

Sarf: $Q = \omega_c \cdot \vartheta_c = \mu \omega \sqrt{2gH \cos \theta}$.



9.9.4-rasm. Lotok (nov) tirqishidan suvning oqib chiqishi

9.9.3 Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi

Idish devoridagi teshikka o‘rnatilgan kalta quvurlar *naychalar* deb ataladi. Odatda, naychalardan sarfini ko‘paytirish yoki ixcham oqimchalar olish uchun foydalaniladi. Ko‘p hollarda idish devori qalin bo‘lib, u parma bilan teshilganda naycha shaklida teshik paydo bo‘ladi.

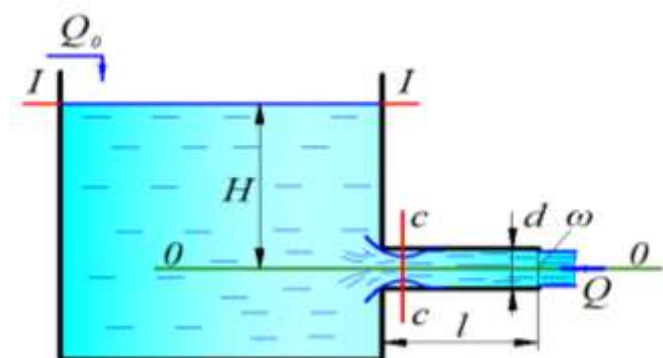
Naychalardan oqadigan suyuqlikni hisoblashda yuqorida keltirilgan tezlik va sarf formulalardan foydalanamiz, lekin ε , φ , m koeffitsiyentlarning qiymatlari boshqacha bo‘ladi.

Silindrik naychalardan suyuqlik oqayotganda kirishda u devordan ajraladi va torayadi. Bu hodisa xuddi yupqa devordagi teshikdan oqish holidagi kabi bo‘ladi. Lekin bu torayish to‘xtab, toraygan oqimcha bilan naycha devori orasida uyurmali harakat vujudga kelganligi sababli kengayish boshlanadi va oqim naychani butun kesimini egallab olguncha davom etadi. Natijada oqimcha naychani ko‘ndalning kesimiga teng kesimda chiqib ketadi. Bu hodisa

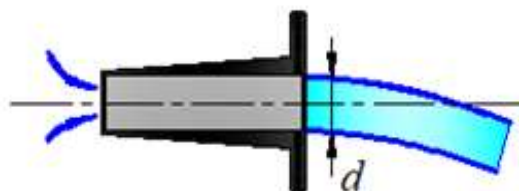
naychani uzunligi l uning diametridan $3\div 4$ marta katta bo'lganda to'liq amalga oshadi (9.9.2 - rasm, a).

Bu holda oqimcha diametri naycha diametriga teng bo'lgani uchun siqilish koeffitsiyenti $\varepsilon = 1$, binobarin, $m = \varphi$ bo'ladi.

Agar naycha $l_n = (3\div 4)D_n$ dan kalta bo'lsa, bu holda toraygan oqimcha naycha kesimigacha kengayib ulgurmaydi va oqim teshikdan oqayotgan suyuqlik kabi bo'ladi (9.9.2-rasm, b). Naycha uzunligining uning diametriga nisbati $\frac{l_n}{D_n}$ va Reynolds soni tezlik hamda sarf koeffitsiyentlariga ta'sir ko'rsatadi. Bu ta'sirni tajribalarda ko'p tekshirilgan bo'lib, φ , m va ζ larning o'rtacha qiymatlari silindriknaychalar uchun quyidagicha bo'ladi:



9.9.2 - rasm. Naychadan oqish.



9.9.3 - rasm. Ichki silindrik naycha.

Yupqa devordagi teshikdan oqish holi bilan solishtirish natijasi shuni ko'rsatadiki, silindrik naychalardan oqishda oqimchani siqilishi bo'lmagani uchun sarf ortadi, lekin qarshilik katta bo'lgani uchun tezlik kamroq bo'ladi. Ba'zi hollarda ichki silindrik naychalar qo'llanilib, ular idish devoridagi teshikka ichkari tomonidan kavsharlangan juda kichik quvur ko'rinishida bo'ladi. Bunday naychalarda oqimcha kirishdagi torayishdan keyin $l_n > 2,5D_n$ ga teng uzunlikda to'liq kengayadi (10.3 - 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.

9.9.4 Turli xil naychalar

Silindrik naychalarning kamchiliklari shulardan iboratki, ularning uzunligi yetarli bo'lib, oqimcha to'liq kengayishga ulgursa (9.9.3-rasm a), u holda qarshilik ortib ketadi. Agar u kaltaroq bo'lsa, oqimcha to'liq kengaymasligi (9.9.3 - rasm, b) natijasida sarf koeffitsiyenti kamayib ketadi. Shuning uchun, odatda, boshqa xildagi naychalar ham qo'llaniladi. Ular konussimon kengayuvchi (10.4 - rasm, a), konussimon torayuvchi (9.9.4 - rasm, b) va konoidal (9.9.4 - rasm, v) naychalardir.

Konussimon kengayuvchi naychalarda (diffuzorlarda) kirishda oqimcha juda ko'p torayadi, so'ngra esa tez kengaya boshlaydi va naychani butunlay to'ldiradi. Shuning uchun siqilish koeffitsiyenti $\varepsilon = 1$. Konuslik burchagi $\Theta > 8^\circ$ bo'lganda esa oqimcha to'liq kengaya olmaydi va natijada naycha devorlariga teg-

may 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.

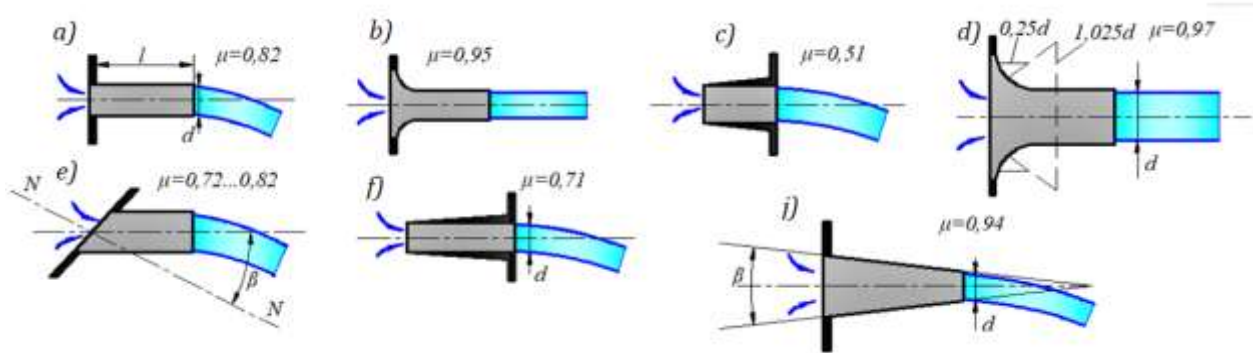
Konussimon torayuvchi naychalarda ham φ , m , ε koeffitsiyentlar konuslik burchagi Θ ga bog'liq. Bunday naychalarda kirishda oqimcha torayadi (bu hodisa silindrik naychalardagiga qaraganda kamroq bo'ladi) va so'ng kengayadi. Naychadan chiqishda esa, uning kesimi torayishda davom etgani uchun, oqimcha uchun ikkinchi (tashqi) torayish yuz beradi. Bu naychalarda ichki torayish kam bo'lgani uchun unga sarf bo'lgan energiya ham kam bo'ladi. Tajribadan ma'lumki torayuvchi naychalarda tezlik koeffitsiyenti konuslik burchagi ortishi bilan ortib boradi: sarf koeffitsiyenti esa avval ortib borib, $\Theta = 13^0$ da eng katta qiymatga ($m = 0,946$) erishadi, so'ngra esa kamayadi. Shuni aytish keraki sarf koeffitsiyenti ortganiga qaramay torayuvchi naychalarda sarf kamayadi, shunki barcha koeffitsiyentlar chiqish qismiga nisbatan olingan. Bu naychalarda chiqish kesimi kirish kesmiga nisbatan toraygani uchun katta tezliklar olish mumkin.

Konoidal naychalarning shakli yupqa devordagi teshikdan oqayotgan suyuqlik oqimi shakliga o'xshash bo'ladi. Shuning uchun ularda ichki torayish boshqa naychalarga qaraganda juda kichik bo'lib, qarshilik ham kam bo'ladi. Demak tezlik sarf va siqilish 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 sarf beradi, lekin ularni yasash qiyin bo'lgani uchun amalda juda kam qo'laniladi.

Turli naychalarda suv uchun oqish koeffitsiyentlarining qiymatlari 9.9.1-jadvalda keltirilgan. Turli naychalar aktiv turbinalarning soplolarida gidravlik turbinalarning so'ruvchi quvurlarida, fontanlarning soplolarida, brandspoyt, gidromonitorlarda turli suyuqlikni so'ruvchi va sochuvchi va boshqa turli qurilmalarda ishlatiladi.

Naychalar katta idish devoriga emas, balki quvurning uchiga o'rnatilgan bo'lsa, (9.9.8) va (9.9.10) formulalarda kirishdagi tezlik ϑ_1 ni hisobga olish kerak bo'ladi. Bu holda sarf formulasi quyidagicha yoziladi:

$$Q = m \frac{\pi D_n^2}{4} \sqrt{\frac{2gH}{1 - \left(\frac{D_n}{D_r}\right)^2}}, \quad (9.9.12)$$



9.9.4-rasm. a) tashqi silindrik; b) tashqi konoydal; c) ichki konoydal; d) konoydal; e) burchak ostida silindrik; f) ichki konoydal; j) tashqi torayuvchi konoydal.

9.9.1-jadval.

Har xil shakldagi naychalar va dumaloq teshik uchun siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari.

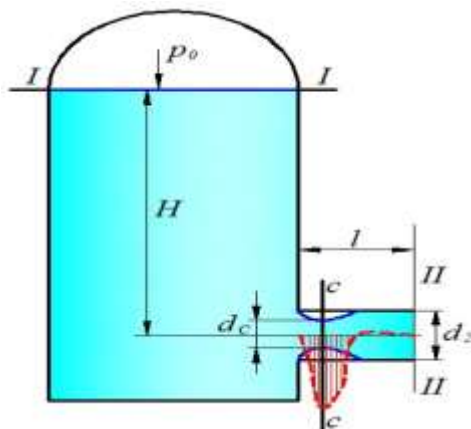
T №	Naychalar turi va teshiklar	Rasml ar	E	φ	m	ζ
1	Yupqa devordagi dumaloq teshik	77	0,64	0,97	0,62	0,06
2	Tashqi silindrik naycha	78	1	0,82	0,82	0,5
3	Ichki silindrik naycha	79	1	0,71	0,71	1,0
4	Konussimon kengayuvchi naycha $\Theta = 7^0$ bo'lganda	80-a	1	0,45	0,45	3÷4
5	Konussimon torayuvchi naycha $\Theta = 13^024'$ bolganda	80-b	0,982	0,963	0,946	0,09
6	Konoidal naycha	80-c	1	0,97	0,97	0,04

bu yerda: D_n va D_t - naycha va quvur diametrlari.

Ba'zi hollarda katta sarf yoki tezlik olish uchun ikki xil naychani ketma-ket qo'yiladi. Masalan, brandspoytlarda quvurning uchiga oxiri silindrik naycha bilan tugaydigan konussimon torayuvchi naycha qo'yiladi.

Naychadagi vakuum

Siqilgan kesimdagi tezlik, chiqish tezligidan katta. Natijada siqilish kesimidagi bosim, atmosfera bosimidan kichik. Bu esa naychada vakuum mavjudligini ko'rsatadi.



$$\varphi_H = \mu_H = 0,97 - 0,99$$

$$h_{\text{BAK}} = 0,76H_0$$

Suyuqlikning tashqi silindrik naychadagi harakati

9.9.5 Suyuqliklarning teshikdan o`zgaruvchan naporda oqishi

O`zgaruvchan bosimda oqish yoki idishlarning teshikdan yoki naychadan oqish hisobiga bo`shashi masalasini ko`ramiz. Idishning tubida teshik yoki naycha bo`lib, undan suyuqlikning oqish hisobiga bosim kamayib boradi. Natijada oqish tezligi ham kamayib boradi. Shuning uchun bu masala beqaror harakatga misol bo`ladi. Lekin bosim ham, tezlik ham vaqt davomida sekin o`zgargani uchun harakatni qisqa vaqt oraliqlarda barqaror harakatdek ko`rish mumkin. Bu holda masalani yechish uchun Bernulli tenglamasidan foydalansak bo`ladi.

Idishdagi suyuqlikning o`zgaruvchan balandligini H , shu balandlikdagi suyuqlik kesimi yuzini ω , teshikning yuzini ω_0 bilan belgilaymiz (9.9.5 - 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

$$\omega dH = -Qdt \quad (9.9.13)$$

Bu yerda manfiy ishora idishdagi suyuqlikning kamayganini bildiradi. Ko`rilayotgan vaqt oralig'ida (yuqorida aytilganidek) Bernulli tenglamasidan foydalanish mumkin bo`lgani uchun sarf (9.9.10) formula bilan hisoblanadi. U holda (9.9.13) quyidagicha yoziladi

$$\omega dH = -m\omega_0\sqrt{2gH}dt.$$

oxirgi tenglikdan ko`rinadiki,

$$dt = -\frac{\omega dh}{m\omega_0\sqrt{2gH}}. \quad (9.9.14)$$

Agar sarf koeffitsiyenti m ni idish bo`shashi davomida o`zgarmaydi desak, u holda idishning bo`shash vaqti quyidagicha hisoblanadi

$$t = -\frac{1}{m\omega_0\sqrt{2g}} \int_H^0 \omega \frac{dH}{\sqrt{H}}. \quad (9.9.15)$$

Vaqt davomida suyuqlik sirti yoki idish kesimi yuzi ω ning sathi H ning o`zgarishiga qarab qanday o`zgarishi $\omega = f(H)$ ma'lum bo`lsa, u holda (9.9.15) 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

$$t = \frac{2\omega}{m\omega_0\sqrt{2g}} \sqrt{H} = \frac{2\omega H}{m\omega_0\sqrt{2gH}} \quad (9.9.16)$$

Idishdagi suyuqlikning dastlabki sathini H_d desak, dastlabki hajm $V_d = \omega H_d$ bo`ladi. U holda idishning dastlabki sathi H_d suyuqlikdan bo`shash vaqti bilan quyidagicha bog`lanadi

$$t = \frac{2\vartheta_0}{Q}$$

Bu formuladan ko`rinadiki, o`zgaruvchan bosimda idishning bo`shash vaqti shu bo`shagancha hajmli suyuqlikning o`zgarmas H_d bosimda oqib ketishi uchun ketgan vaqtga qaraganda ikki baravar ko`p ekan. Bunday masalalar benzin baklarning bo`shab borishini hisoblashda kerak bo`ladi. Masalan, (9.15)

tenglamadan suyuqlik sathining H_1 dan H_2 gacha o'zgarishi uchun ketgan vaqtni quyidagicha hisoblash mumkin.

$$t = \frac{2\omega}{m\omega_0\sqrt{2g}}(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (9.9.17)$$

Shuningdek, o'xshash yopiq idishlarning kichik diametrli teshiklardan oqishi hisobiga bo'sh shi masalasini ham ko'rish mumkin. Suyuqlikning bosimi ko'p idishdan bosimi kam idishga o'tishi masalasini ham xuddi shunday ko'rish mumkin.

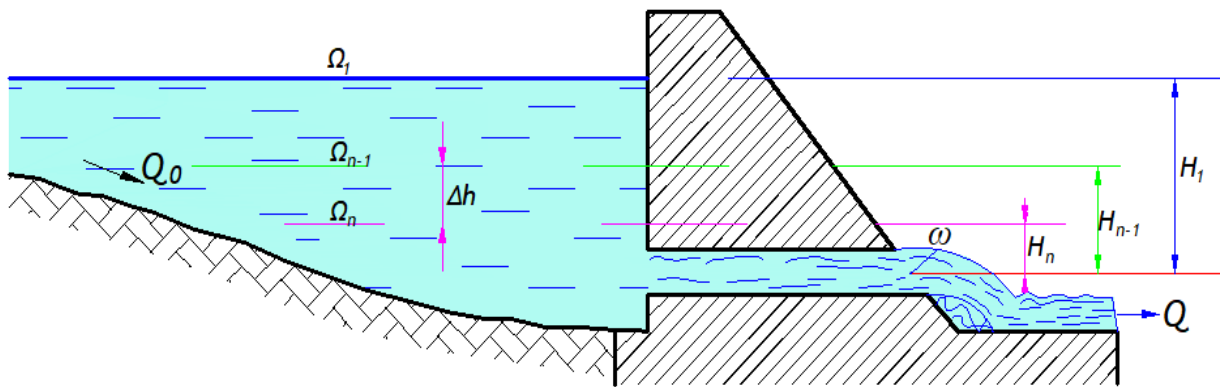
Suv omborlardagi jarayon: $\Omega \neq f(H)$.

A) Bunday holatda suv ombordagi suv xajmi shartli ravishda bir necha qismlarga ajratiladi:

$$dW = \Omega dH = \frac{\Omega_{n-1} + \Omega}{2} \Delta H$$

B) Rezervuarni bo'shatish vaqti:

$$T = \frac{\Delta H}{2\mu\omega\sqrt{2g}} \left[\left(\frac{\Omega_1}{\sqrt{H_1} - \frac{Q_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}} + \frac{\Omega_2}{\sqrt{H_2} - \frac{Q_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}} \right) + \left(\frac{\Omega_2}{\sqrt{H_2} - \frac{Q_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}} + \frac{\Omega_3}{\sqrt{H_3} - \frac{Q_0}{\mu\omega\sqrt{2g}}} \right) + \dots \right]$$

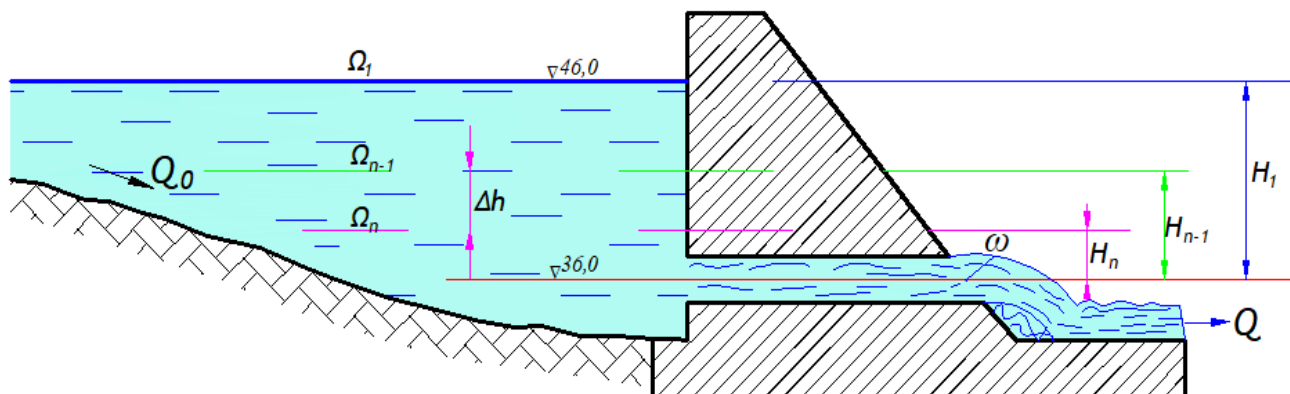


Amaliy masala

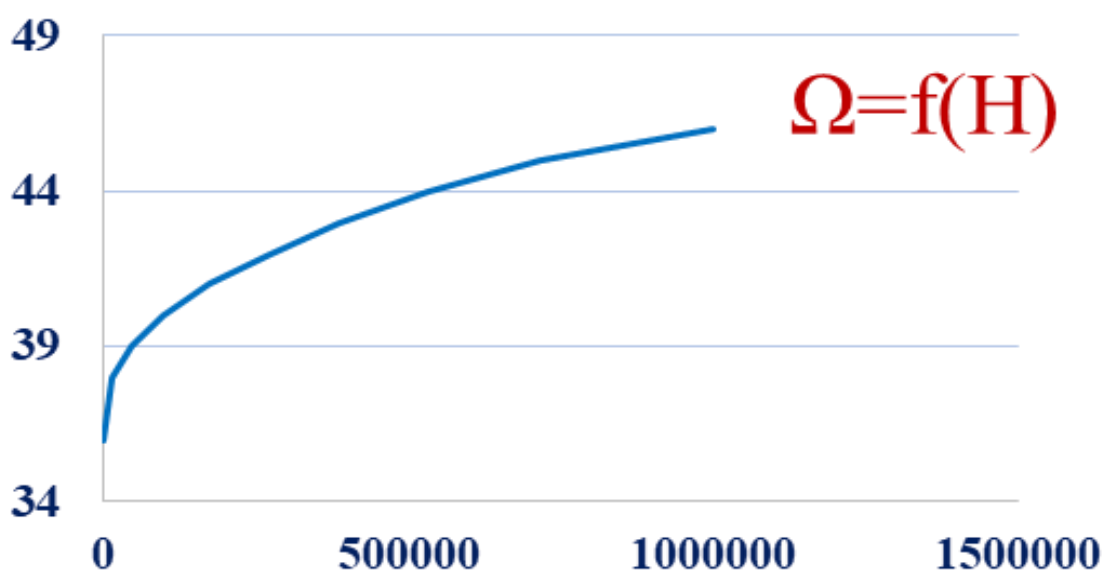
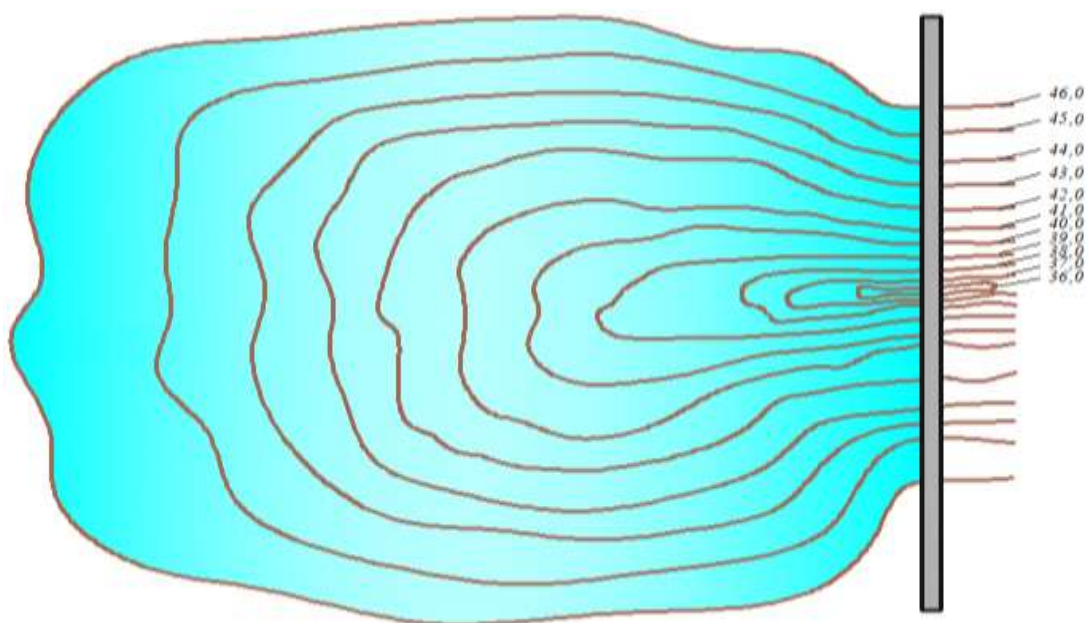
Suv omborning suv chiqaruvchi inshootining yuzasi $\omega=16 \text{ m}^2$, sarf koeffitsienti $\mu=0,7$; Suv sathining belgisi 46 m; suv chiqarish inshootining belgisi 36 m; Suv sathi yuzasining suv chuqurligiga bog'liqlik grafigi berilgan; Suv omborga kirib keladigan suv sarfi ($Q_0=0$) deb qaralsin.

Talab qilinadi:

Suv omborini suvdan bo'shatish vaqti, T-?



1-rasm. Suv ombori bo‘ylama qirqimi



2-rasm. Suv sathi yuzasining suv chuqurligiga bog‘liqlik grafigi

1-jadval. Suv sathi yuzasining suv chuqurligiga bog‘liqligi

∇	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
H	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ω ming. m^2	801	5426	14686	44934	98734	173469	271584	386712	532004	717026	1000000

Yechim:

1. Suv ombordan dt vaqt davomida chiqadigan suv hajmi dW :

$$dW = Qdt = \Omega dH \quad (1)$$

2. Suv omborining suv chiqarish inshootidan chiqadigan suv miqdori:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH} \quad (2)$$

3. (1) ifodani (2) ifodaga qo‘yib:

$$\int_0^T dt = \int_{H_1}^{H_2} \frac{\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2gH}}$$

yoki

$$\int_0^T dt = \int_{H_1}^{H_2} \frac{\Omega dH}{\mu\omega\sqrt{2gH}} \quad (3)$$

4. Suv sathi yuzasi va chuqurlik o‘rtasida analitik bog‘lanish ma’lum bulmaganlashgi uchun, grafikdan foydalanib suv omborining hajmini qismlarga ajratamiz:

$$dW = \Omega dH = \frac{\Omega_{n-1} + \Omega_n}{2} dH \quad (4)$$

4. Har bir qismdagi suv sathi o‘zgarishini alohida-alohida aniqlab va umumlashtirib, suv omborini suvdan bo‘shash vaqtini aniqlaymiz:

$$T = \frac{\Delta H}{2\mu\omega\sqrt{2g}} \left[\frac{\Omega_1}{\sqrt{H_1}} + \frac{2\Omega_2}{\sqrt{H_2}} + \frac{\Omega_3}{\sqrt{H_3}} + \dots + \frac{\Omega_n}{\sqrt{H_n}} \right] \quad (5)$$

4. 1-jadvaldagi qiymatlarni (5) tenglamaga qo‘yib, suv omborini bo‘shashga ketgan vaqtni aniqlaymiz.

$$H_n = 10 \text{ m}; \quad \Delta H = 1 \text{ m.}$$

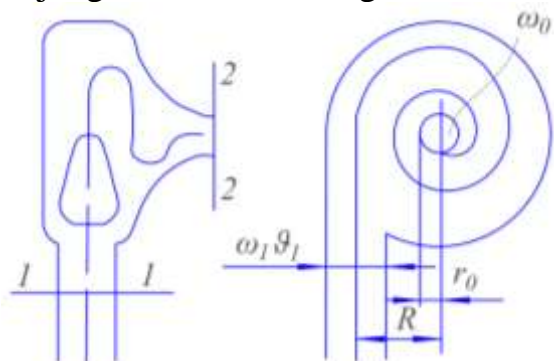
$$T = \frac{1}{2 \cdot 0,7 \cdot 16 \sqrt{2 \cdot 9,81}} \left[\frac{542}{\sqrt{1}} + \frac{2 \cdot 14686}{\sqrt{2}} + \frac{2 \cdot 44934}{\sqrt{3}} + \dots + \frac{1000000}{\sqrt{10}} \right] = 23508 \text{ soniya}$$

Javob: $T = 23508$ son = 6 soat, 31 minut.

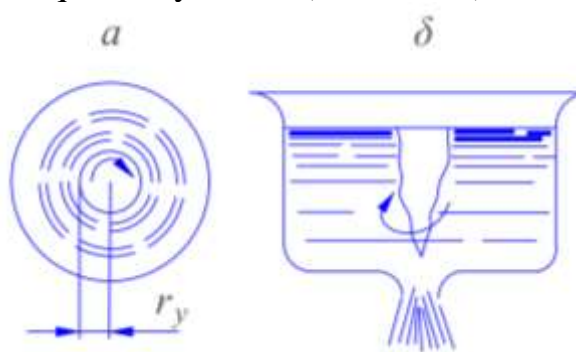
9.9.6 Oqimcha texnikasi haqida tushuncha

Yuqorida aytib o`tilgandek, oqimchali harakatlar (xususan suyuqliklarning teshik va naychalardan oqishi) texnikaning turli sohalarida qo`llaniladi. Bularga misol sifatida forsunkalar, bosimni boshqaruvchi apparatlar, tashqi zarbani susaytiruvchi qurilmalar, soplolar va boshqalarni ko`rish mumkin. Ulardan ba'zilari haqida qisqacha to`xtalib o`tamiz.

Forsunkalar suyuqlikni changitish, ya'ni suyuqlik atmosferaga (yoki yuqori bosimli gaz bilan to`la fazoga) oqib chiqishi bilan uning oqimchasining mayda zarrachalarga parchalanib ketishini vujudga keltirish uchun ishlatiladigan maxsus naychalardir. Bunday forsunkalar yonish kameralariga yoqilg`ini yuqorida aytilgan usul bilan yetkazib berib, u yerda uning yonishiga yordam beradi. Ularning ishlash printsiipi quyidagicha avval suyuqlikning uyurma harakati vujudga keltiriladi, so`ngra esa hosil bo`lgan oqim toraytiriladi (9.9.6-rasm).



9.9.6 - rasm. Forsunka kesimining sxemasi.



9.9.7 - rasm. Forsunka uyurmali sxemasi.

Suyuqlik forsunka ichiga urinma bo`yicha kiritilishi natijasida uning harakat miqdori momenti deyarli o`zgarmaydi, ammo oqimning torayishi natijasida aylanma tezlik ortib borib, markazdan qochma kuchning ortishiga sabab bo`ladi. Bu kuch suyuqlikni chiqishida devorga shunday siqadiki, natijada uning yupqa qavati vujudga kelib, forsunkadan chiqishda mayda tomchilarga aylanib ketadi. Bu harakat vaqtida forsunkaning o`qi bo`yicha sirdagi bosim bir atmosferaga teng havo (gaz) uyurmasi vujudga keladi (9.9.7 - rasm,a). Bu uyurma idishlarning bo`shashidagi uyurma varonkasi (9.9.7 - rasm,b) ga o`xshaydi, lekin forsunkada tezkorroq bo`ladi. Forsunkada suyuqlik sarfi formulasi (9.9.10) quyidagicha yoziladi:

$$Q = m\omega_0 \sqrt{2g \frac{p}{\gamma}}$$

bu yerda: p - forsunka ichida suyuqlikning bosimi m - sarf koeffitsiyenti, u maxsus formula bilan topiladi. ω_0 forsunkadan chiqishdagi kesim yuzi. Prof. G.N. Abramovich yaratgan nazariya bo`yicha sarf koeffitsiyenti m forsunkaning o`lchamlari va shakliga bog`liq bo`lib, quyidagicha hisoblanadi:

$$m = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \frac{A^2 - \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}}$$

$$A = \frac{\omega_0 R}{\omega_1 r_0} \quad (9.9.18)$$

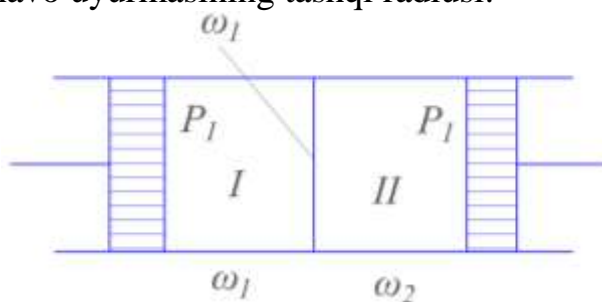
bu yerda: ω_l - forsunkaga kirishdagi kesim yuzi R - kirishdagi oqimning aylanish radiusi r_0 - chiqishdagi kesim radiusi.

Oqimchanning siqilish ε va tezlik koeffitsiyentlari φ uchun quyidagi formulalari chiqarilgan:

$$\varepsilon = 1 - \frac{r^2 y}{r_0^2} \quad (9.9.19)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}}$$

bu yerda: r_y - havo uyurmasining tashqi radiusi.



10.8 - 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

$$Q = \frac{\varepsilon \omega_0}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}} \sqrt{2gH}. \quad (9.9.20)$$

$$g = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{A^2 \varepsilon^2}{1 - \varepsilon}}} \sqrt{2gH}. \quad (9.9.21)$$

Suyuqlik reaktiv dvigatellaridagi forsunkalardan uyurma harakat suyuqlikni urinma bo'yicha keltirish o'rniga, vintli uyurma hosil qiluvchi qurilma yordamida vujudga keltiriladi.

Drossellar va klapanlar (gidrouzatmalarda) bosim ma'lum chegaradan ortib ketganda uni kamaytirish uchun ishlatiladi. Bularning turlari juda ko'p bo'lib, ular to'g'risida maxsus bo'limlarda to'xtalib o'tiladi. Biz quyidagi drosselni soddalashtirilgan shaklda keltiramiz (9.9.8-rasm). Bu holda bosimlari p_1 va p_2 bo'lgan bo'limlar teshik (yoki jikler deb ataluvchi tor bo'g'izcha) orqali tutashirilgan bo'lib, birinchi bo'lmada bosim oshib ketganida suyuqlik ikkinchi bo'lmaga oqib o'tadi. Bu jarayon ikkala bo'lmada bosim tenglashguncha davom etadi. Bunday qurilmalarda suyuqlik tezligi va sarfi quyidagicha hisoblanadi:

$$g = \varphi \sqrt{2g\Delta p / \gamma} = \varphi \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad (9.9.22)$$

$$Q = m\omega_T \sqrt{2g\Delta p / \gamma} = m\omega_T \sqrt{H_1 - H_2} \quad (9.9.23)$$

bu yerda: $\Delta p = p_1 - p_2$; ω_T - teshikning kesim yuzi; H_1, H_2 - birinchi va ikkinchi kameralardagi bosimlar.

Birinchi bo'lmadan ikkinchi bo'lmaga suyuqlikning oqib o'tish vaqti quyidagicha hisoblanishi mumkin:

$$t = \frac{2\omega_1\omega_2}{m\omega_T(\omega_1 + \omega_2)} \left(\sqrt{\frac{p_1}{\gamma}} - \sqrt{\frac{p_2}{\gamma}} \right) = \frac{2\omega_1\omega_2}{m\omega_T(\omega_1 + \omega_2)} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) \quad (9.9.24)$$

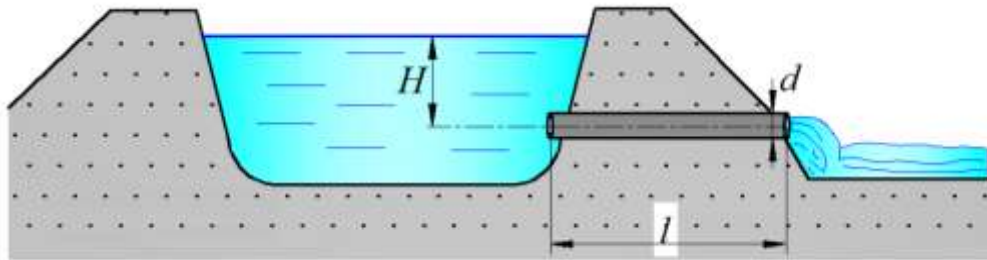
bu yerda: ω_1, ω_2 - birinchi va ikkinchi bo'lmalarning ko'ndalang yuzi; ω_1 va ω_2 teng bo'lganda $S_1 = S_2 = S$ deb belgilab, (9.9.24) ni ushbu ko'rinishga keltirish mumkin:

$$t = \frac{\omega}{m\omega_T} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})$$

(9.9.22), (9.9.23) va (9.9.24) formulalar gidravlikaga doir adabiyotlarda idishdagi suyuqlikning cho'ktirilgan teshik orqali oqib o'tish masalasi sifatida keltiriladi.

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma:

Masala: Napor: $H=1,5$ m; naycha diametri: $d=0,3$ m; uzunligi $l=1,2$ m



Talab qilinadi: Kanal yon devoriga o'rnatilgan quvurdan o'tayotgan sarfni (Q) aniqlang.

Yechimi: 1. Avval quvur naycha sifatida ishlashi mumkinligini aniqlaymiz:

$$(3,5 \div 4)d \leq l \leq (6 \div 7)d$$

$$1,2 \leq 1,2 \leq 2,1$$

Demak, «quvur» naycha sifatida ishlaydi.

2. «Naychadan oqib chiqayotgan suv sarfi: $Q = \mu_{\text{H}} \omega \sqrt{2gH}$;

Silindrsimon naycha uchun: $\mu = 0,82$.

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} = 0,82 \cdot 0,785 \cdot 0,3^2 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,5} = 0,31 \text{ m}^3/\text{c}.$$

Javob: $Q = 0,31 \text{ m}^3/\text{c}$.

Mustaqil yechishga doir masalalar

1. Suyuqlik diametri $d = 10$ mm teshik orqali $H = 3$ m dam (napor) ostida atmosferaga oqib chiqmoqda. Teshikdan oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang, agar siqilish, tezlik va qarshilik koeffitsiyentlari quyidagicha bo'lsa: $\varepsilon = 0,62$; $\varphi = 0,97$ $\xi = 0,06$.

2. Sisternadan diametri $d = 100$ mm bo'lgan teshikdan atmosferaga oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang. Agar sisterna diametri $D = 250$ mm, sisternaga o'rnatilgan manometrning ko'rsatishi $R_m = 0,2$ MPa va manometrning o'rnatish balandligi $h = 1,3$ m bo'lsa.

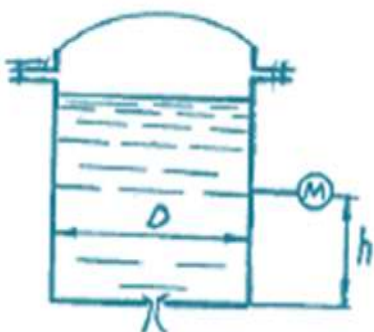
Agar teshikka xuddi shu diametrdagi naycha ulansa suyuqlik sarfi qanday o'zgaradi? Teshikning qarshilik koeffitsiyenti $\xi = 0,04$

3. To'g'on devoriga o'rnatilgan silindrik naycha orqali $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sarfni pastki b'efga o'tkazish kerak. B'eflardagi suyuqliklar sathining farqi $H = 10 \text{ m}$, naychani sarf koeffitsiyenti $\mu = 0,82$. Naycha diametrini aniqlang

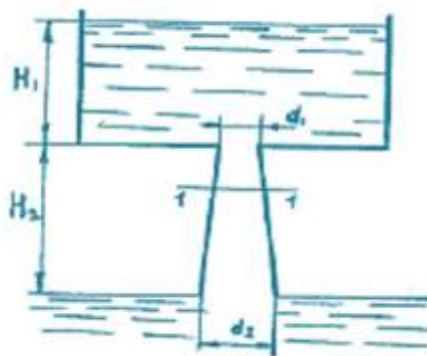
4. Suv yuqori rezervuardan pastki rezervuargacha diametrlari $d_1 = 150 \text{ mm}$ va $d_2 = 200 \text{ mm}$ li teshik va diffuzor orqali oqib o'tmoqda. Teshik va diffuzorning qarshilik koeffitsiyentlari: $\xi_1 = 0,06$; $\xi_2 = 0,03$.

Agar 1-1 kesimdagi absolyut bosim nolga teng bo'lib, $H_2 = 1,5 \text{ m}$ bo'lsa, yuqori rezervuardagi suv sathining balandligi – H_1 nimaga teng bo'ladi (9.9.10-rasm)?

5. Eni $b = 2,6 \text{ m}$ li tarnovdagi darvoza tagidan oqib chiqayotgan suv sarfini aniqlang. Darvozaning ko'tarilish balandligi $a = 0,7 \text{ m}$ yuqori b'efdagi suv dami (napori) $H = 6,0 \text{ m}$. Siqilish va tezlik koeffitsiyentlari: $\varepsilon = 0,67$; $\varphi = 0,97$ (9.9.11-rasm)



(9.9.10 - rasm).



(9.9.11 - rasm).

10-Bob bo'yicha nazorat savollari

1. Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o'zgarmas bosimda oqishi
2. Siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari
3. Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi
4. Suyuqliklarning teshikdan o'zgaruvchan bosimda oqishi
5. Oqimcha texnikasi haqida tushuncha

Ikkinchi qism. **GIDRAVLIK TIZIMLAR (mashinalar)**

10-bo'lim. Hidravlik tizimlar (gidromashinalar) haqida umumiy tushunchalar

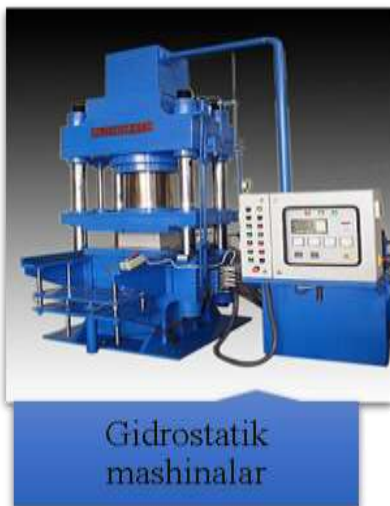
10.1 Nasoslar va gidrodvigatellar

Gidravlik mashinalar Suyuqliklarga energiya beruvchi yoki suyuqlik energiyasidan foydalanuvchi mexanizmlar gidravlik mashinalar deyiladi.

Gidromashinalarda harakatlanuvchi turli ish qismlari yordamida suyuqliklarga energiya beriladi va bu energiyadan turli maqsadlarda foydalaniladi yoki suyuqlik energiyasi boshqa mexanizmlarning ish qismlarini harakatga keltiradi.

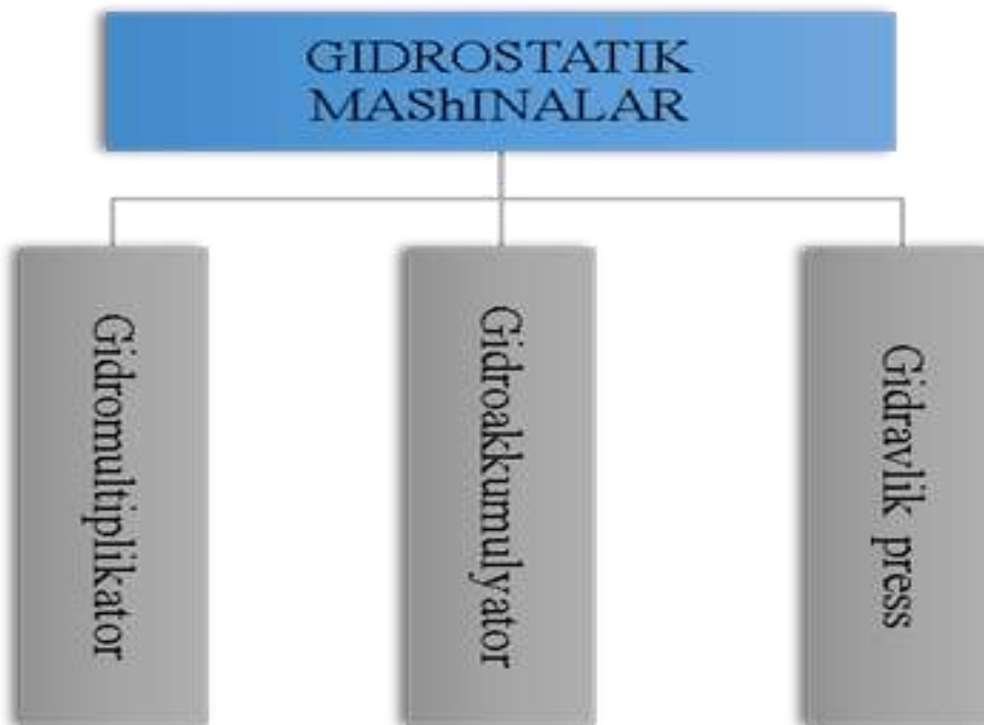
Gidromashinalar texnikaning suyuqlik bilan ishlaydigan turli qismlarida keng qo'llaniladi. Bular to'g'risida ushbu kitobning kirish qismida to'xtalib o'tgan edik.

Suyuqliklarga energiya beruvchi yoki suyuqlik energiyasidan foydalanuvchi mexanizmlar gidravlik mashinalar deyiladi (10.1-rasm).



10.1-rasm. Hidravlik mashinalar

Gidrostatik mashinalar ular suyuqlikning muvozanat holatidan foydalanib, mexanik kuchni suyuqlikning energiyasiga aylantirish usuli bilan kuchaytirib yoki susaytirib beradi. Hidropress, Gidroakkumulator va xokazolar (10.2-rasm).



10.2-rasm. Hidrostatik mashinalar

Nasoslar va gidrodvigatellar 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 foydalaniladi.

Nasoslar Mexanik energiyani suyuqlik energiyasiga aylantirib beradi. 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'chirish, tashish ushuni ishlatiladi.

Bunda suyuqliklar nasos orqali o'tganida ularning energiyasi ortadi. Bu energiya yordamida suyuqlik ustida aytilgan ishlarni bajarish mumkin bo'ladi. Nasoslar suyuqlikka bergan energiyasiga yoki o'zidan qancha suyuqlik o'tkaza olishiga qarab turli gruppalariga 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 foydalaniladi. Bunday nasoslarda suyuqlikka energiya berish kabi asosiy vazifadan ko'ra vakuum hosil qilish xossasi muhim bo'lib, ular vakuum nasoslar deyiladi.

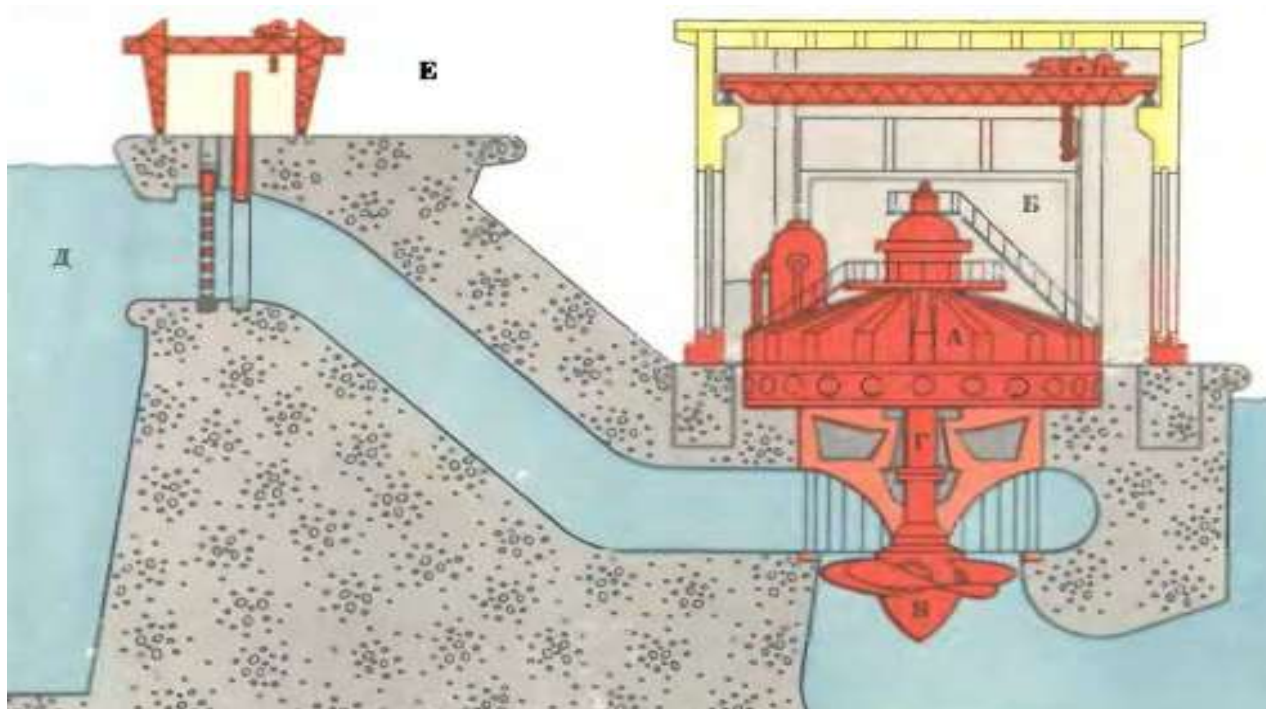
Ventilyatorlarning ishlash prinsiplari markazdan qochma nasoslarga o'xshagan bo'lib, ular havoni harakatga keltirish, turli narsalarni havo yordamida tashish (pnevмотransport), ifloslangan havoni toza havo bilan almashtirish, qizdirilgan

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 foydalaniladi. Nasoslarga teskari ish bajaruvchi, ya'ni suyuqlikdan energiyani olib uni harakat ko'rinishida boshqa mexanizmlarga uzatuvchi mashinalar *gidrodvigatellar* deyiladi. Suyuqlik energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beruvchi mexanizmlar **gidrodvigatellar** deb ataladi. Gidravlik dvigatellar asosan dinamik va hajmiy gidrodvigatellarga ajratiladi. Hajmiy gidrodvigatellarga ilgari qaytma harakatlanuvchi va burilma porshenli kabi gidrosilindrlar kiradi va h.k. Dinamik gidrodvigatellarga gidromotorlar va gidrotrubinalar kiradi. Gidrodvigatellardan suyuqlik o'tganda uning energiyasi kamayadi. Bu kamaygan energiya hisobiga gidrodvigatelning ish qismi harakatga kelib, bu harakat boshqa mexanizmga beriladi va biror ish bajaradi yoki elektr energiyasi hosil qilishda foydalaniladi. Bir xil turga kirgan nasoslar va gidrodvigatellarning 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 gidrodvigatel sifatida ishlashi mumkin. Bunda albatta nasos yoki gidrodvigatel teskari vazifa bajarganida uning foydali ishi kamayadi. Suvning energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda ishlatiladigan gidrodvigatellar *turbinalar* deb atalib, ular ayrim mustaqil gruppaga ajraladi.

Gidroturbina (GT) – suv oqimining mexanik energiyasini valning energiyasiga aylantiradi va shu orqali elektr energiya xosil qiladi (GES) (10.3, 10.4-rasmlar). 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.



10.3-rasm. Gidroturbina (GT)



10.4-rasm. GES sxemasi

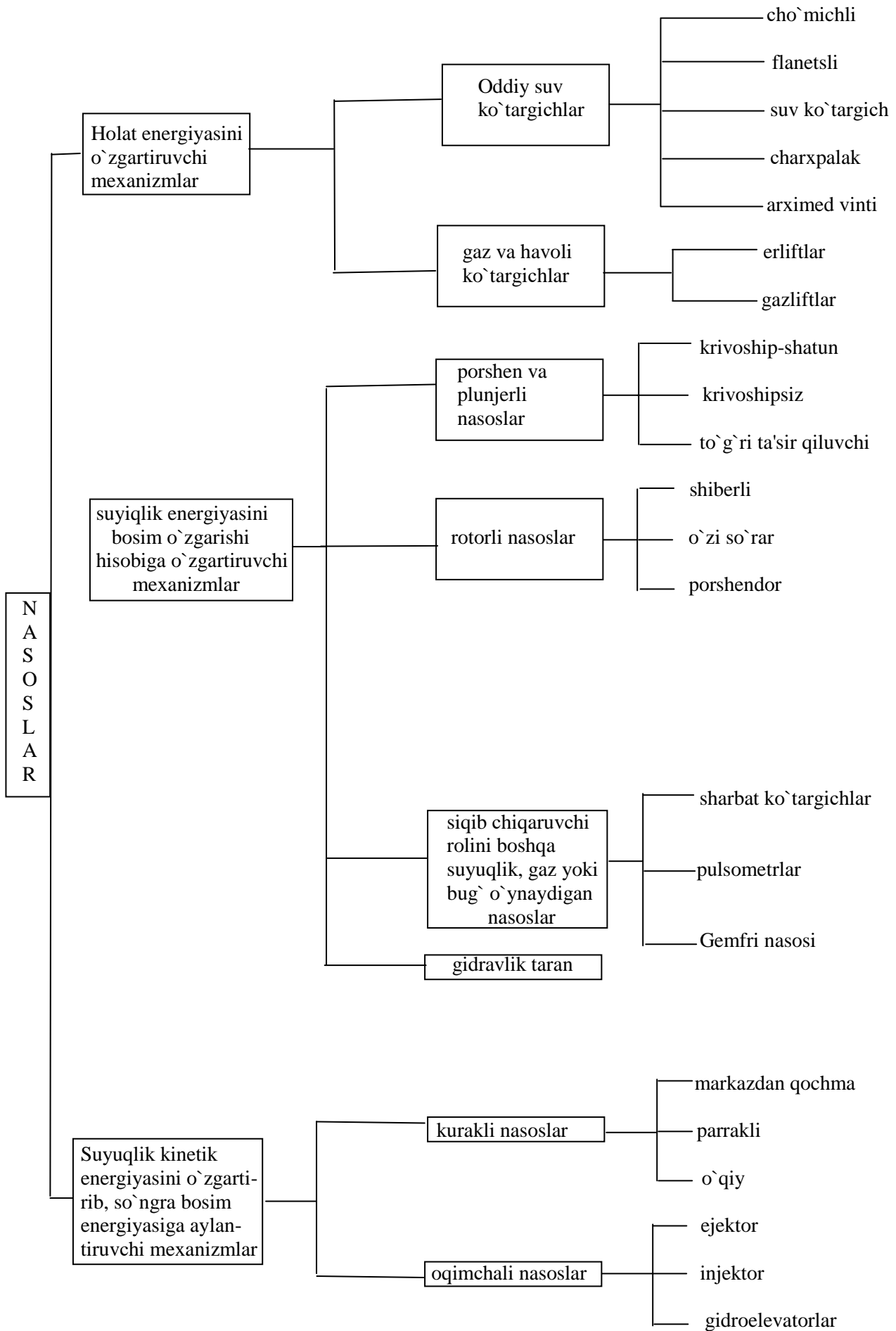
Gidrotexnika, energetika tog' sanoati va boshqa sohalarida nasoslar va gidrodvigatellar juda ko'p qo'llaniladi. Ulardan nasos stansiyalari va elektrostansiyalar tashkil qilinadi. Bu stansiyalarda bir nasha nasos yoki gidrodvigatellar birga ishlatiladi.

10.2 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 prinsipiga 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 (monteju, 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 qochma, o'qiy, propellerli turlari mavjud. Kurakli nasoslarni bitta valda yoki bir yoki necha ish g'ildiragi o'rnatilishiga qarab, bir pog'onali va ko'p pog'onali nasoslarga ajratish mumkin. Markazdan qoshma nasoslar so'rish usuliga qarab bir tomonlama so'ruvchi va ikki tomonlama so'ruvchi 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'xtalamiz).



10.5-rasm. Suyuqlikka ta'sir kuchi bo'yicha Nasoslarni guruhlash sxemasi

Oqimchali nasoslar esa ejetor, injektor va gidroelevatorlarni o'z ichiga oladi. Nasoslarni bunday guruhlashga ishlab chiqarishda eng ko'p tarqalgan ikki tur (markazdan qochma va porshenli) nasoslar atrofida barcha nasoslarni guruhlashga intilish asos bo'lgan bo'lsa kerak.

Nasoslarni suyuqlikka bergan 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 bergan sarfiga qarab past, o'rta va yuqori sarfli nasoslarga guruhlash mumkin.

Energiyaning nasosga qanday berilishiga qarab guruhlashga intilish ham bo'lgan. Bu aytilgan oxirgi uch tur guruhlashning har biriga ham barcha mavjud nasoslarni kiritish mumkin bo'lgani bilan bu uch usulda juda katta kamchilikka ega. Chunki bu usullarda bir guruhga porshenli, markazdan qochma, rotorli, propellerli va ishlash prinsipi tamoman bir-biridan farqlanuvchi boshqa nasoslar kirishi mumkin. Nasosni D.Bernulli tenglamasi asosida klassifikatsiya qilinadigan bo'lsa, quyidagi guruhlarga bo'lish 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 $\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)$.



10.6-rasm. Nasoslar klassifikatsiyasi

Faqat holat energiyasi beruvchi mashinalar *suv ko'targichlar* 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 ishlatilgan barcha qurilmalar (10.7-rasm): charxpalak, chig'ir, Arximed vinti va boshqalar kiradi.



10.7-rasm. Suv ko'targichlar

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.

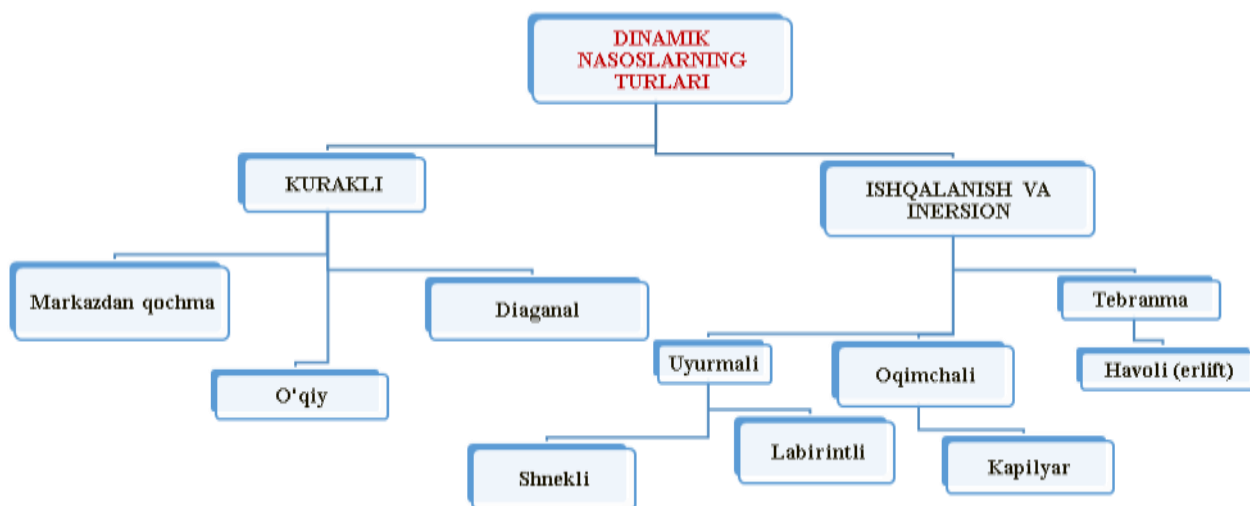
Ikkinchi guruhga suyuqlikka bosimni ortirish yo'li bilan energiya beruvchi nasoslar kiradi. Suyuqlikni porshen bosimi (porshenli nasoslar), aylanuvchi qismlar (rotorli nasoslar), siqilgan havo, gaz yoki bug' (pnevmatik suv ko'targichlar, Gemfri nasosi va h.) yordamida siqib chiqarish mumkin. Bularga suyuqlikka gidravlik zarba orqali impuls beruvchi mexanizmlar, gidravlik taran ham kiradi. Ushinchi guruh nasoslarda suyuqlikka kinetik energiya berilib, so'ngra u bosim energiyasiga aylantiriladi. Bularga birinchi galda kurakli (markazdan qochma, parrakli, o'qiy) 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 uch gruppaga taqsimlanishini sxema ko'inishida tasvirlanishi mumkin. Nasoslarda suyuqlik qaysi tipdagi kuchlardan (dinamik kuchlar yoki statik kuchlar) foydalanib so'rilishiga qarab, ular dinamik yoki hajmiy nasoslarga bo'linadi. Bunda yuqoridagi klassifikasiyaga kirgan nasoslarning porshenli va rotoriy turlari hajmiy nasoslarga, qolganlari esa dinamik nasoslarga kiradi.

10.3 Dinamik nasoslar va ularning xarakteristikalari

Dinamik nasoslar o'zidan o'tkazayotgan suyuqlikning kinetik energiyasini orttiradi, 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.



10.8-rasm. Nasos stansiyasi (Namangan viloyati)



10.9-rasm. Dinamik nasoslar

Bundan tashqari, aylanma harakat qilayotgan suyuqlikka albatta markazdan qochma kuch ta'sir qilib, uning markazdan qochma tezligini oshiradi. Shunday qilib, suyuqlikning tezligi yana ortadi. Shu usul bilan nasos berayotgan energiyani kinetik energiya ko'rinishida qabul qiladi. Tabiiyki, markazdan qochma kuch ta'sirida suyuqlik nasos korpusiga borib taqalishi (markazdan qochma 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 kinetk energiyasi uni inersiya bo'yicha harakat qildiradi. Potensial energiyadan esa zaruratga qarab turli maqsadlarda foydalaniladi (masalan, so'rilgan suyuqlikni transport qilish, boshqa biror mexanizmni gidrodvigatellar yordamida harakatga keltirish va hk).

Oqimchali nasoslarda suyuqlikka nasos korpusidan katta tezlik bilan o'tayotgan ish suyuqligi yordamida energiya beriladi. Bunda ham avval

oqimchanning 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 almashinuvi vujudga keladi. Shunday qilib, so'rilayotgan suyuqlikka, ish suyuqligi yordamida energiya beriladi.

Suyuqlikka gidravlik zarba yordamida hosil qilingan qo'shimcha 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 gidravlika bo'limida to'liq ma'lumot berilgan.

10.4 Nasoslarning asosiy parametrlari

Nasoslardan ishlab chiqarishda foydalanishda uning qayerda va qanday sharoitlarda ishlatilishi mumkinligini aniqlaydigan eng muhim parametrlari asosiy parametrlar deyiladi. Bularga nasosning so'rishi (sarfi), hosil qiladigan bosimi, quvvati va foydali ish koeffitsiyenti 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'lchanadi.

Markazdan qochma nasoslarning sarfi quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

$$Q = w_1(\pi d_1 - \delta z)b_1 \sin \beta_1$$

$$Q = w_2(\pi d_2 - \delta z)b_2 \sin \beta_2 \quad (10.1)$$

yoki

bu yerda w_1, w_2 - ish g'ildiragiga kirish va chiqishdagi nisbiy tezliklar; d_1, d_2 - ish g'ildiragining ichki va tashqi diametrlari; δ - nasos kuraklarining qalinligi; z - kuraklar soni; b_1, b_2 - kuraklarning kirish va chiqishdagi eni; β_1, β_2 - kuraklarning kirish va chiqishdagi egrilik burchaklari.

Boshqa turdagi nasoslarning sarfi to'g'risida tegishli nasos ustida to'xtalganda gapiriladi.

2. Nasosdan o'tayotgan suyuqlikning birlik og'irlikdagi miqdoriga berilgan energiya (boshqacha aytganda nasosdan o'tayotgan suyuqlik oqimi olgan solishtirma energiyasiga) nasosning napori (bosimi) deb ataladi va suyuqlik ustunining metrlari hisobida o'lchanadi. va suyuqlik ustunining metrlari hisobida o'lchanadi.

Nasosning napori (bosimi) 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.

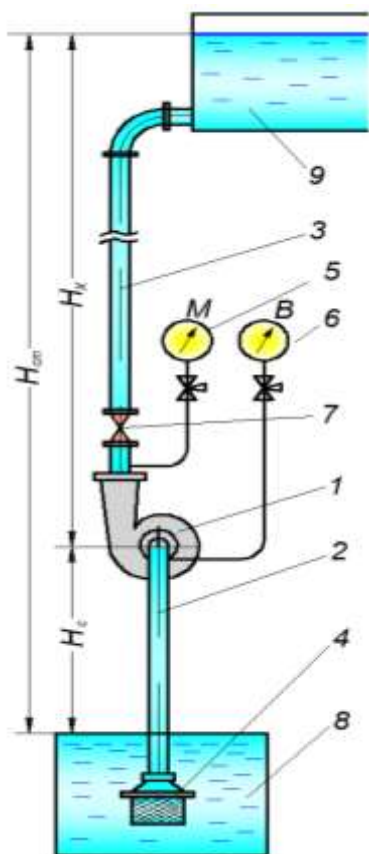
Birinchii usulda bosim quyidagicha hisoblanadi. Avval nasosga kirishdagi energiya hisoblanadi:

$$e_1 = H_c + H_o + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g}, \quad (10.2)$$

bu yerda H_s, P_1, g_1 - so'rish balandligi bosimi va tezligi. So'ngra nasosdan chiqishdagi energiyani hisoblanadi.

$$e_2 = H_c + H_o + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{g_x^2}{2g} \quad (10.3)$$

bu erda: H_0 – kirishdagi vakuummetr bilan chiqishdagi manometrlar o'rnatilgan sathlar farqi; P_x, \mathcal{G}_x – haydash bosimi va tezligi.



- 1-nasos;
 - 2-so'rish quvuri;
 - 3-haydash quvuri;
 - 4-setka;
 - 5-manometr;
 - 6-vakuummetr;
 - 7-jumrak;
 - 8-suv manbai;
 - 9-suv qabul qilish baki;
- H_c -suv manbaidagi suv sathidan nasos o'qigacha balandlik (so'rish balandligi);
 H_x -nasos o'qidan suv qabul qilish bakidagi suv sathigacha balandlik (haydash balandligi);
 H_{cm} -statik napor.

10.10-rasm. Nasos qurilmasi

Oxirida chiqish va kirishdagi solishtirma energiyalar farqini hisoblab, nasosdan o'tayotganda suyuqlik olgan energiya topiladi. Bu farq nasosning bosimiga teng bo'ladi:

$$H = e_2 - e_1 = \left(H_c + H_0 + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{\mathcal{G}_x^2}{2g} \right) - \left(H_e + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{\mathcal{G}_c^2}{2g} \right) = H_0 + \frac{p_x - p_c}{\gamma} + \frac{\mathcal{G}_x^2 - \mathcal{G}_c^2}{2g} \quad (10.4)$$

Surish bosimini vakuummetr ko'rsatkichi bo'yicha topish mumkin:

$$p_c = p_a - p_{vak}$$

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:

$$H_{vak} = \frac{p_{vak}}{\gamma}; \quad H_m = \frac{p_m}{\gamma}$$

$$H = H_m + H_{vak} + H_0 + \frac{\mathcal{G}_x^2 - \mathcal{G}_c^2}{2g} \quad (10.5)$$

Ko'pincha, tezlik bosimlarining ayirmasi kichik miqdor bo'lgani uchun ularni hisoblashlarda nazarga olinmaydi.

Ikkinchi usul bilan bosimni hisoblash uchun avval ta'minlovchi idishdagi suyuqlik sathidagi kesim (1—1) va nasosga kirishdagi kesim (2—2) uchun Bernulli tenglamasi yoziladi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{g_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{g_c^2}{2g} + h_c.$$

So'ngra nasosdan chiqishdagi kesim (3—3) va suyuqlikning eng yuqori ko'tarilgan sathidagi kesim (4—4) uchun Bernulli tenglamasi yoziladi:

$$z_3 + \frac{p_x}{\gamma} + \frac{g_x^2}{2g} = z_4 + \frac{p_4}{\gamma} + \frac{g_4^2}{2g} + h_x$$

bu tengliklarda: z_1, z_2, z_3, z_4 — tegishli kesimlarning geometrik balandligi; h_c, h_x — so'rish va haydash trubalaridagi gidravlik 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_c va v_x larga nisbatan kichik miqdor deb tashlab yuboramiz. Oxirgi ikki tenglamaga $z_2 - z_1 = H_1$, $z_4 - z_3 = H_2$ belgilashlarni kiritib, ulardan so'rish va haydash bosimlarini topamiz:

$$\frac{p_c}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} - H_1 - \frac{g_c^2}{2g} - h_c$$

$$\frac{p_x}{\gamma} = \frac{p_4}{\gamma} - H_2 - \frac{g_x^2}{2g} - h_x$$

Olingan miqdorlarni (10.4) tenglamaga qo'yib, ushbu tenglikni olamiz:

$$H = \frac{p_4 - p_1}{\gamma} + H_0 + H_2 + H_1 + h_c + h_x \quad (10.6)$$

Nasos qurilmasidan (10.10-rasm) dan ko'rinadiki $H_0 + H_2 = H_x$, $H_1 = H_c$. Bunga asosan

$$H_0 + H_2 + H_1 = H_x + H_c = H_{st}$$

Ta'minlovchi va qabul qiluvchi idishlarda bosim, odatda, atmosfera bosimiga teng bo'ladi: ($p_1 = p_a$; $p_4 = p_a$). Shunga asosan bosim uchun yozilgan oxirgi tenglama quyidagi ko'rinishga keladi

$$H = H_{st} + h_c + h_x \quad (10.7)$$

Bu tenglikdan ko'rinadiki, 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 vaqtda 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:

$$N_f = \gamma QH \text{ kgm/s} \quad (10.8)$$

Quvvatni o. k. larda ifodalasak:

$$N_f = \frac{\gamma QH}{75} \quad (10.9)$$

kVt larda ifodalasak

$$N_f = \frac{\gamma QH}{102} \quad (10.10)$$

Bu olingan quvvat formulalari nasosning suyuqlikka bergan energiyasini ifodalovchi foydali quvvatni beradi. Amalda esa dvigatelning valni aylantirishga sarflangan 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 nisbati nasosning foydali ish koeffisienti (FIK) deb ataladi:

$$\eta = \frac{N_f}{N} \quad (10.11)$$

Buni nazarga olganda suyuqlikni so'rish uchun sarf bo'lgan umumiy quvvat dvigatel sarflangan quvvatga teng ekanligini tushunish qiyin emas. Umumiy quvvat quyidagi formulalar yordamida hisoblanadi:

$$N = \frac{\gamma QH}{\eta} \text{ kgm/s}$$

$$N = \frac{\gamma QH}{75\eta} \text{ o.k} \quad (10.12)$$

$$N = \frac{\gamma QH}{102\eta} \text{ kVt}$$

Yuqoridagilarga asosan aytish mumkinki, FIK suyuqlikni ko'tarishdagi barcha energiya yo'qotishlarini ifodalovchi 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, uyurmalar hosil bo'lishida va h.) ni yengishga sarflanadigan energiyadir. Bu yo'qotishlarni gidravlik FIK hisobga oladi;

$$\eta_g = \frac{H}{H + \sum h_{omas}} \quad (10.13)$$

Bunda $\sum h_{omas}$ 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:

$$\eta_m = \frac{N_n}{N_v} \quad (10.14)$$

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 qismlarning tayyorlanish sifatini va moslanganligini xarakterlaydi.

3. Hajmiy yo'qotishlar-suyuqlikning nasosdagi zichlagichlar, klapanlar orqali sirqib ketishi va nasos ish kameralarini yetarli to'ldirmasligi natijasida ro'yobga keladi.

Hajmiy FIK η_v – quyidagicha ifodalanadi:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q + \Delta Q} \quad (10.15)$$

bunda ΔQ – nasosdagi suyuqlikning hajmiy yo'qotishlari.

Hajmiy FIK nasosning geometriklik darajasini va ishlash sharoitini xarakterlaydi.

To'liq FIK yuqoridagi ush FIK larning ko'paytmasiga teng:

$$\eta = \eta_g \eta_v \eta_M \quad (10.16)$$

Porshenli nasoslarda $\eta = 0,7 \div 0,9$, markazdan qochma nasoslarda esa $\eta = 0,6 - 0,8$.

Nasos dvigateliga kerakli quvvat N_{dv} ushbu formula bilan aniqlanadi

$$N_{dv} = \frac{N_v}{\eta_{uzat}} a \quad (10.17)$$

bu erda: η_{uzat} – uzatish FIK; a – dvigatelning tasodifiy o'ta zo'riqishiga qarshi zapas koeffitsientidir, u dvigatel quvvatiga qarab 1,1 – 1,5 chegarasida bo'ladi.

11-bo'lim. Kurakli nasoslar nazariyasining asoslari

11.1 Markazdan qochma nasoslar

Markazdan qochma nasoslarda suyuqlikka energiyani nasos korpusida aylanuvchi ish g'ildiragi kuraklari yordamida beriladi. Bunda parraklar orasidagi suyuqlik zarrachasi markazdan qochma 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 qochma kuch ta'sirida suyuqlikning kelishi natijasida bosim ortib, suyuqlik nasos kamerasidan haydash trubasiga ko'tariladi. Markazdan qochma nasoslarning ishlashi shu prinsipga asoslangan bo'ladi.



11.1-rasm. Kurakli nasoslar

Markazdan qochma nasoslarning asosiy qismlari korpus, valga o'rnatilgan aylanuvchi ish g'ildiraklari bo'lib, valga bir yoki bir necha ish g'ildiragi o'rnatish mumkin. Birinchi holda nasos bir g'ildirakli yoki bir bosqichli deyiladi. Ikkinchi holda esa u ko'p bosqichli deyiladi. Bir bosqichli markazdan qochma nasoslar kichik bosimli nasoslar 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 qochma nasoslarning bosqichlarni soni o'n ikkitadan oshmaydi.



11.2-rasm. Markazdan qochma nasoslar

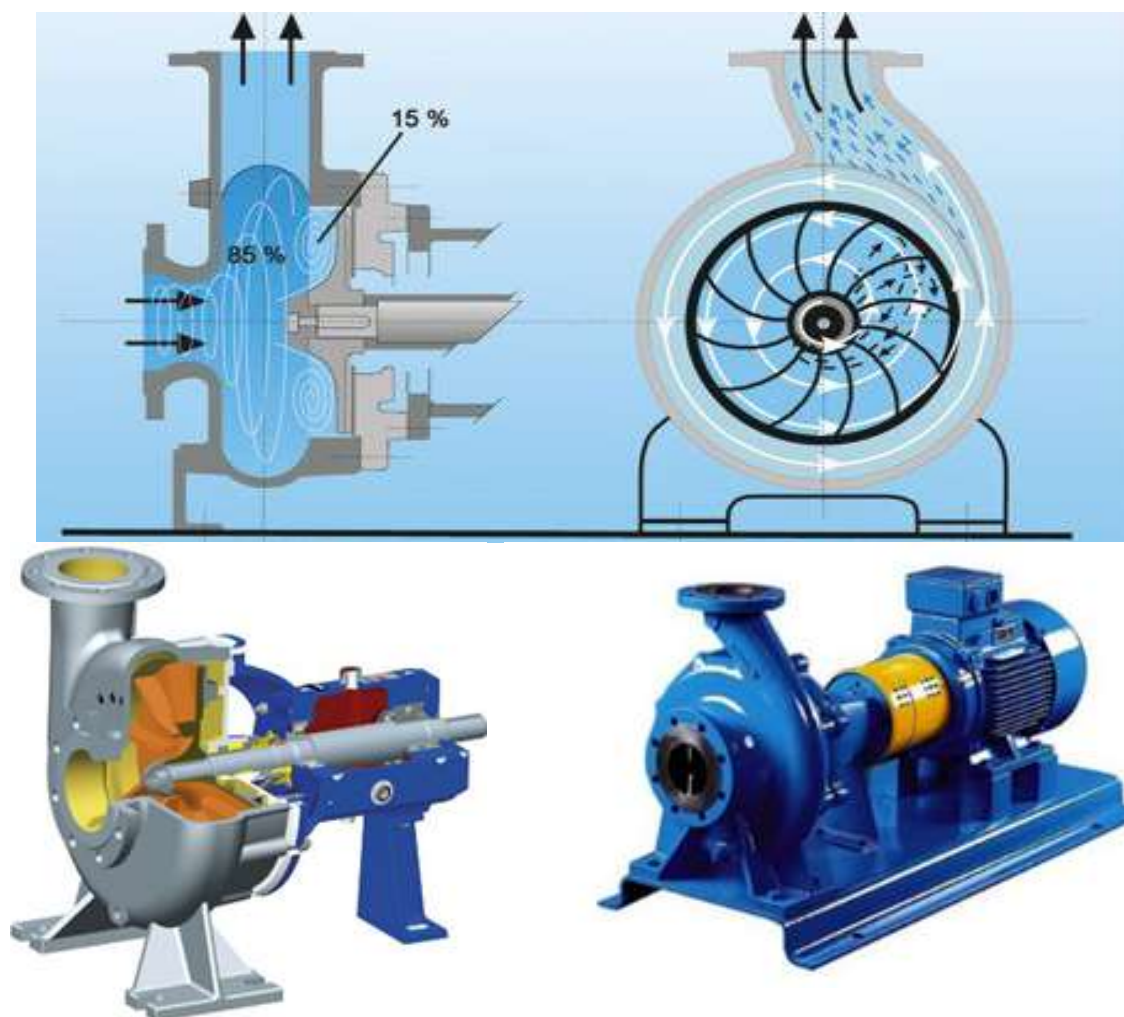
Ish g'ildiragi suyuqlikning oqishi uchun kanallar hosil qiluvchi kuraklar o'rnatilgan disk va qopqoqdan iborat. Kuraklar, odatda turli (oldinga etilgan, orqaga egilgan va radial) shakllarda bo'ladi. Markazdan qochma nasoslarda hosil bo'lgan bosim ish g'ildiragining aylanish tezligiga bog'liq. Ish g'ildiragi bilan korpus orasida kattagina tirqish bo'lib, agar korpus suyuqlik bilan to'ldirilmasa, g'ildirak aylanishidan hosil bo'lgan siyraklanish suyuqlikni ko'tarishga yetarli bo'lmaydi. Shuning uchun markazdan qochma 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 suvga botirilgan qismida klapan o'rnatilgan bo'ladi.

Markazdan qochma nasoslarning boshqa turdagi 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 qochma nasoslar bosim juda katta bo'lmasa ham, sarf katta bo'lishi zarur bo'lgan hollarda ishlatiladi.



11.3-rasm. Markazdan qochma nasoslar

Kamchiligi: nasosni ishlatish uchun oldindan ishchi g'ildirakni suyuqlik bilan to'ldirish kerak, f.i.k. pastroq ($\eta=0,6-0,7$), hosil qilinadigan bosim past.

Afzalligi: suyuqlik bir me'yorda uzatiladi, vazni yengil, tuzilishi sodda, ixcham, o'rganish va ishlatish qulay.

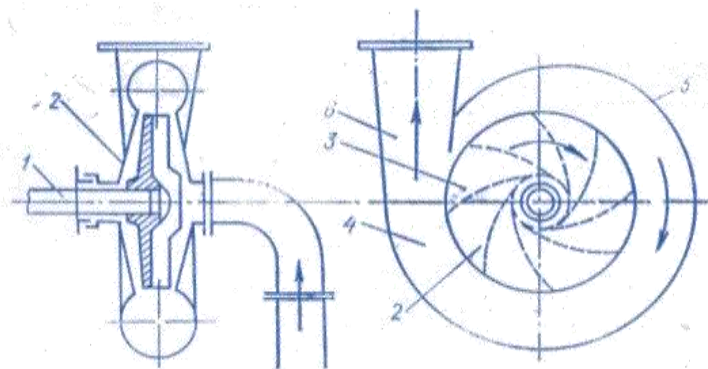
11.2 Bir bosqichli markazdan qochma nasosning sxemasi

Markazdan qochma nasosning sxemasi 11.4-rasmda keltirilgan bo'lib, u nasosning ishlash prinsipini shartli ravishda ko'rsatadi.

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 qochma kuch ta'sirida hosil bo'lgan bosim suyuqlikni haydash trubasiga siqib chiqaradi. Suyuqlikning haydash trubasida ma'lum miqdordagi tezlik bilan ta'minlanishi uchun o'tkazuvchi kamera, yo'naltiruvchi apparat 5 va diffuzor 6 kabi bir qancha maxsus moslamalardan foydalaniladi.

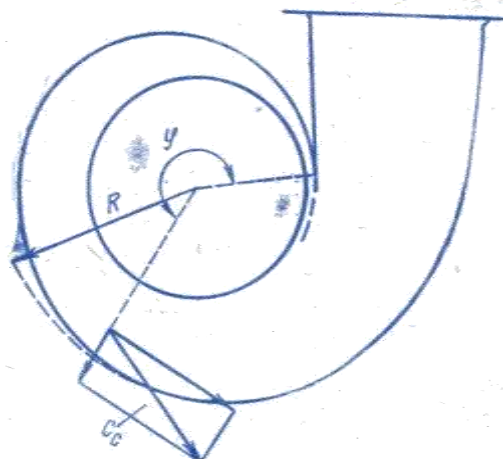
Nasosdagi soʻrilish qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathiga taʼsir qiluvchi bosim bilan soʻrish trubasidagi siyraklanish bosimi orasidagi farq hisobiga amalga oshadi. Bunda aytilgan bosimlar farqi soʻrilish balandligini, soʻrish trubasidagi qarshiliklar va suyuqlikka tezlik berishga sarf boʻladi. Bu tezlik suyuqlikning kamerga va soʻngra parraklar orasidagi kanalga kirishiga yordam beradi. Tabiiyki, bunda taʼminlovchi idish bilan surish trubasidagi bosimlar farqi soʻrilayotgan suyuqlik bugʻlari bosimidan kam boʻlmasligi kerak. Haydash balandligi markazdan qochma nasos engishi mumkin boʻlgan eng yuqori balandlik boʻlib, gʻildirakning tashqi aylanmasidagi tezlik qancha katta boʻlsa, u ham shuncha katta boʻladi. Aylanma tezlik esa nasos gʻildiragi diametrining kattaligi va aylanish soniga bogʻliq. Nasos korpusning tuzilish ham haydash balandligining yuqori boʻlishiga katta taʼsir qiladi. Shuning uchun nasosning korpusi soʻrilish yoʻli, spiral yoʻl va yoʻnaltiruvchi apparat bilan jihozlangan.

Soʻrish yoʻli – korpusning soʻrish trubasidan ish gʻildiragiga oʻtishdagi kanalidir. Suyuqlikning nasosga soʻrilish yoʻlining eng yaxshi shakli oʻq yoʻnalishida konus koʻrinishida boʻladi.



11.4-rasm. Markazdan qochma nasos

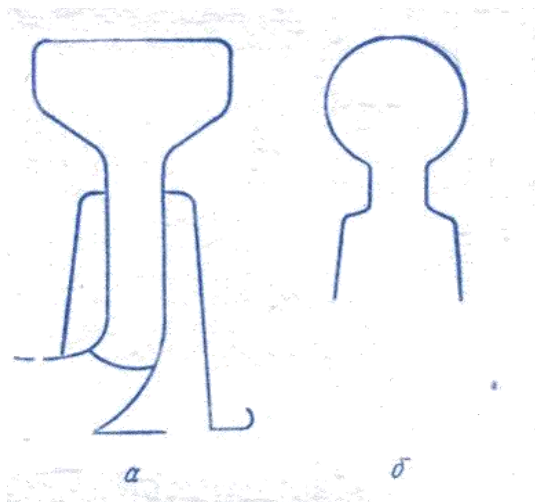
Tezyurligi oʻrtacha va kichik boʻlgan nasoslarda nasosga soʻrilish yoʻli spiral shaklda boʻlishi mumkin. Tezyurligi yuqori boʻlgan nasoslarda esa oʻq boʻyicha soʻrilish tezlikni 15 – 20% oshiruvchi konfuzor orqali amalga oshiriladi. Spiral koʻrinishdagi soʻrish kameralarini hisoblashda soʻrish tezligi $s_{soʻr}$ gʻildirakka kirish tezligi s_1 ga qaraganda ancha kichik qilib olinadi:

$$s_{soʻr} = (0,85 \div 0,70)s_1$$


11.5-rasm. Suyuqlikning spiral kameradagi harakatining sxemasi

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 vaqtlarda metall quyish ancha aniq va toza bajarilgani uchun spiral kameralar ko'proq qo'llanila boshladi (hatto ko'p bosqichli nasoslarda ham qo'llanilmoqda).

Ish g'ildirigidan chiqqan suyuqlik zarrachasi spiral kameraning biror qismiga kirgandan so'ng radius bo'yicha harakatlanishini davom ettirish bilan birga, aylanma harakat qilib chiqish tomonga (11.5 - rasm) intiladi va o'zidan keyin kelayotgan zarrachaga o'z o'rnini 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, 11.6-rasmda tasvirlangan *a* va *b* kesimlar.



11.6-rasm. Spiral kameraning shakllari

Odatda spiral kamerada tezlik quyidagi formula bo'yicha hisoblanadi:

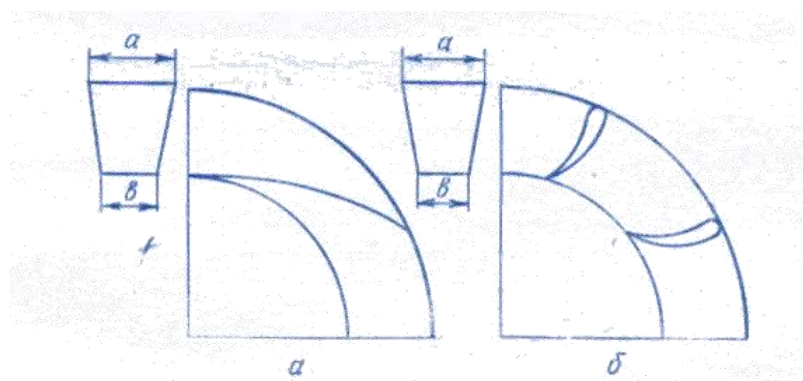
$$c_c = k_c \sqrt{2gH},$$

bu yerda: k_c – tezyurarlik koeffitsiyentiga bog'liq bo'lib, 0,45 dan 0,2 gacha o'zgaradi.

Yo'naltiruvchi apparat. Yo'naltiruvchi apparat ish g'ildirigidan chiqqan suyuqlikning radius bo'yicha kengayib borishi davomida aylana bo'yicha ham kesimning ortib borishiga majbur qiladi. Natijada apparatdan o'tish davomida tezlik kamayib boradi.

Yo'naltiruvchi apparatda suyuqlik zarrachalari to'g'ri chiziqli yo'nalishdan 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 energiyaga ko'proq aylantirish mumkin.



11.7-rasm. Yo'naltiruvchi apparat

Yo'naltiruvchi apparatning tuzilishi ish g'ildirigidan chiqqan suyuqlikning haydash trubasiga kirishini osonlashtiradi.

11.3 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'lchovli harakatga keltirib, ish g'ildirigidagi suyuqlik massasining harakati elementar oqimcha harakatiga o'xshatib qaraladi.

Aytilgan usul bilan markazdan qochma nasos uchun tenglamani 1755 y. L. Eyler chiqargan bo'lib, keyinchalik kurakli mashinalar nazariyasida asosiy ma'nodan boshlandi, so'ngra u turbinalar va boshqa turdagi kurakli mashinalarga ham qo'llanila boshlandi. 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'lchamlarini topish;
- 2) berilgan ish g'ildiragi va valning aylanish soni bo'yicha sarf va hosil bo'ladigan bosimni hisoblash,

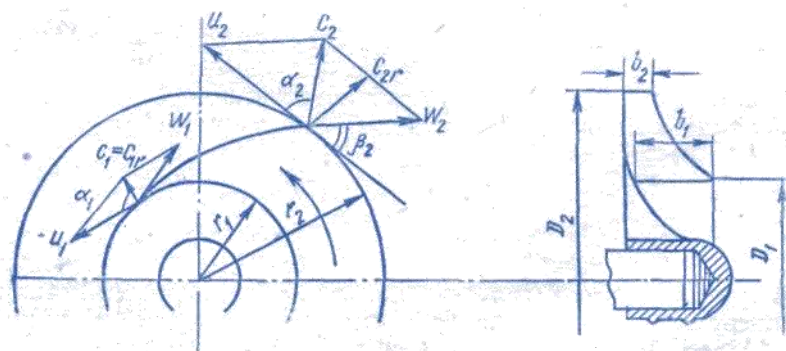
Tenglamani chiqarishda:

- 1) kuraklarning chekliligi hisobga olinmaydi;
- 2) kuraklar orasidagi barcha kanaldan o'tayotgan suyuqliklar bir xil sharoitda oqadi deb qaraladi. Ana shunday soddalashtirishlar bilan hisoblanishiga qaramay natija juda to'g'ri chiqadi.

Endi markazdan qochma nasos ish g'ildiragini hosil qilgan bosimini hisoblaymiz. Buning uchun g'ildirak kanallaridan (11.8-rasm) ko'ramiz. Suyuqlik so'rish trubasidan kanalga, s_1 tezlik bilan keladi. Nazariy hisoblashda yo'qotish bo'lmasin uchun u kanalga «gidravlik zarbasiz» kiradi deymiz. 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 parallelogram diagonaliga teng. Kanaldan chiqishda suyuqlikning absolyut tezligi s_2 , 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:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} - H_k + h_{1-2}, \quad (11.1)$$



11.8-rasm. Ish g'ildiragida olingan nazariy bosimga doir sxema

bu yerda: h_{1-2} – ikki kesim orasidagi gidravlik yo'qotish; H_k – kanaldagi harakat vaqtida markazdan qochma kuch hisobiga bosimning ortishi.

Bosimning energetik ma'nosini nazarga olsak, H_k markazdan qochma 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 qochma kuch hosil qilgan energiya uning $r_2 - r_1$ masofada bajargan solishtirma (birlik og'irlikdagi suyuqlik uchun) ishga teng bo'ladi. Agar ish g'ildiragining burchak tezligi ω bo'lsa, u holda og'irligi G massasi m bo'lgan suyuqlik zarrasiga ta'sir qiluvchi markazdan qochma kuch $m\omega^2 r$ 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. Burchak tezligi ω 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 (11.1) tenglamaga qo'yib, quyidagi tenglikni olamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} - \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (11.2)$$

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

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{1-2}$$

ga teng. U holda kirish va chiqishdagi bosimlarning farqi quyidagicha hisoblanadi:

$$H = H_2 - H_1 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{1-2} - \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} \right).$$

Bir xil indeksli hadlarni tenglikning ikki tomoniga gruppalasak, u holda quyidagi tenglamani olamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{c_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{c_2^2}{2g} + h_{1-2} - H. \quad (11.3)$$

Endi (11.2) dan (11.3) 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:

$$H = \frac{w_1^2 - w_2^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}. \quad (11.4.)$$

Ish g'ildiragi kanaliga kirish va undan chiqishdagi tezlik parallelogrammlaridan foydalansak

$$\begin{aligned} w_1^2 &= u_1^2 c_1^2 - 2u_1 c_1 \cos \alpha_1 \\ w_2^2 &= u_2^2 + c_2^2 - 2u_2 c_2 \cos \alpha_2. \end{aligned}$$

Bularni (13.4) ga qo'yib, ba'zi soddalashtirishlardan keyin ushbuni olamiz:

$$H = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1}{2g}. \quad (11.5.)$$

Shunday qilib, kirish va chiqishdagi bosimlarning farqi yoki, boshqacha aytganda, suyuqlikning ish g'ildiragidan olgan bosimi (11.5) munosabat yordamida aniqlanadi va u markazdan qochma mashinalarning asosiy tenglamasi yoki Eyler tenglamasi deyiladi. Bu tenglama harakat miqdori momentlari teoremasidan foydalanib ham chiqarilishi mumkin.

11.4 Nasosning nazariy napori (bosimi). Kuraklar egriligining bosimga ta'siri

Yuqorida keltirilgan Eyler tenglamasi barcha kurakli mashinalar uchun umumiy bo'lib, bir qancha soddalashtirishlar kiritilgandan keyin olingan. Haqiqatda esa, ish g'ildiragi kuraklari orasidagi harakat ancha murakkabdir. Shuning uchun (11.5) 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'rilish yo'li orqali o'tib, ish g'ildiragi kanaliga radial yo'nalishda kiradi. Bu kanalga zarbasiz kirishni ta'minlaydi. Shuning uchun Eyler tenglamasi nasoslarga quyidagi ko'rinishida qo'llaniladi:

$$H_n = \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (11.6)$$

Bu tenglama nasos ish g'ildiragi suyuqlikka bergan bosimning nazariy tenglamasi yoki markazdan qochma nasoslarning asosiy tenglamasi deb ataladi. Bu tenglamada u_2 aylana tezlik $c_2 \cos \alpha_2$, esa absolyut tezlikning aylana tezlik yo'nalishiga proyeksiyasi ekanligini nazarda tutish kerak.

Asosiy tenglama (11.6) dan ko'rinib turibdiki, u_2 va c_2 faqat bosimga bog'liq bo'lib, nasosdan o'tayotgan suyuqlik miqdoriga bog'liq emas. 11.8-rasmda keltirilgan tezlik parallelogramidan foydalanib (11.6) dan c_2 ni yo'qotish mumkin. Nasos g'ildiragi kuragining chiqishdagi yo'nalishi (yoki chiqishdagi nisbiy tezlik yo'nalishi) aylana tezlik yo'nalishi bilan β burchak tashkil qiladi. Tezlik parallelogramidan ko'rinadiki (11.8-rasm), u_2 bilan c_2 o'rtasida quyidagi munosabat mavjud:

$$c_2 \cos \alpha_2 = u_2 - w_2 \cos \beta_2$$

Bu tenglikni (11.6) ga qo'ysak, ushbu ko'rinishga keladi

$$H_n = \frac{u_2^2}{2g} \left(1 - \frac{w_2^2}{u_2^2} \cos^2 \beta_2 \right) \quad (11.7)$$

Oxirgi tenglamadan ko'rinadiki, nasosning nazariy bosimi ish g'ildiragi aylanishlari soni kvadratiga proporsional (chunki $u_2 = \pi d_2 n$) 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 $\beta_2 < 90^\circ$ va bu holda (13.7) da qavs ichidagi miqdor birdan kichik: $H_n < \frac{u_2^2}{2g}$

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. Lekin β_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, β_2 ni 90° dan kichik qilib olinadi. Amalda eng ko'p qo'llaniladigan burchaklar 16° dan 40° gacha qiymatlarda olinadi. Albatta β_2 ning kichrayishi ish g'ildiragining "reaktiv" ligini oshiradi. Bu esa turbinalar nazariyasida qo'l keladi va aylanish sonining ortishiga sabab bo'ladi.

11.5 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 koeffitsientini beradi:

$$\eta_g = \frac{H_a}{H_n}$$

Gidravlik FIK 0,8 bilan 0,95 o'rtasida o'zgaradi va yuqorida aytilgan sabablarning ta'siriga qarab turli qiymatlarni qabul qiladi. Shunday qilib

$$H_a = \eta_g H_n = \eta_g \frac{u_2 c_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (11.8)$$

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. (11.8) 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'rindir.

Kuraklar sonini bosim tenglamasiga kiritish yo'li bilan nasosning foydali bosimi uchun tenglama olish mumkin:

$$H_f = H_n \eta_g \varepsilon, \quad (11.9)$$

bu yerda: ε – nasos kuraklari soni chekliligini hisobga oluvchi koeffitsiyent 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 ε uchun tajribaga yaqin keluvchi quyidagi munosabatni keltirish mumkin:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \sigma}$$

Noma'lum koeffitsiyent σ 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; φ - g'adir-budirlik va kinematik qovushoqlik koeffitsiyentini hisobga oluvchi koeffitsiyent bo'lib, tajribadan aniqlanadi.

A. A.Lomakin φ 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. Pfyederer ushbu formulani keltiradi:

$$z = 2k \frac{r_m}{l} \sin \beta_m$$

bunda r_m – kuraklar og'irlik markazining radiusi; β_m , - β_1 va β_2 larning o'rta arifmetik miqdori; l – kuraklar uzunligi; k – koeffitsiyent (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.

11.6 Nasosda energiyaning yo'qotilishi. Nasosning foydali ish koeffitsiyenti

Odatda, nasosga berilgan energiya nasosdan olingan energiyaga nisbatan ko'p bo'lib, ularning farqi energiyaning yo'qotilishini ko'rsatadi. Bu yo'qotish uch 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

$$\eta_{mex} = \frac{H_n}{E} \quad (11.10)$$

mexanik yo'qotishni baholovchi, mexanik foydali ish koeffitsiyenti deyiladi. Mexanik 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:

$$T = \mu \frac{u}{\delta} 2\pi r l$$

bu yerda: μ – dinamik qovushoqlik koeffitsiyenti; $u = \omega r$ val bo'yinchasining aylana tezligi; l – val bo'yinchasining uzunligi; δ – podshipnikdagi radial tirqish o'lchami.

Hozirgi zamon 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 mexanik foydali ish koeffitsienti $\eta_{mex} = 0,97-0,98$ ga teng bo'ladi. Agar sal'nik tiqilmasi juda qattiq tortilgan bo'lsa va podshipniklar yaxshi bo'lmasa, η_{mex} ni bunday aniqlab bo'lmaydi.

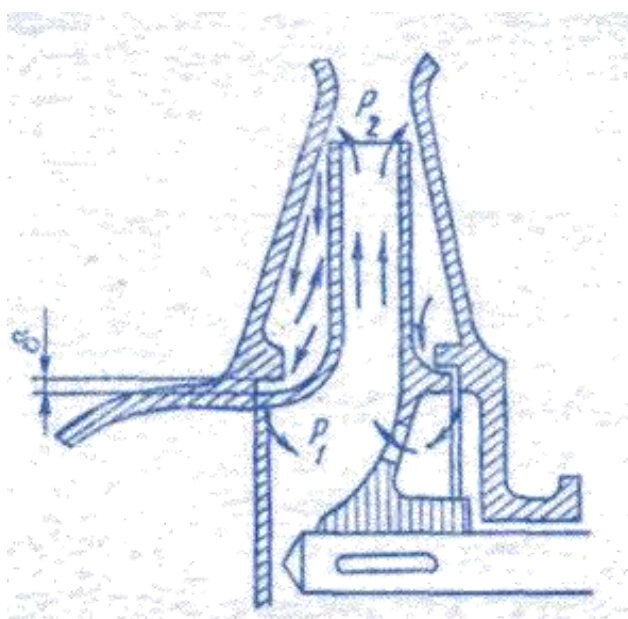
Hajmiy yo'qotish nasos so'rayotgan suyuqlikka sarflangan energiya bilan nasosdan chiqayotgan suyuqlik energiyasining farqini bildiradi. Hajmiy yo'qotishi chiqarilayotgan suyuqlik miqdorining so'rilayotgan suyuqlik miqdoriga nisbatini ko'rsatuvchi hajmiy FIK bilan baholanadi:

$$\eta_h = \frac{Q_{chiq}}{Q_{so'r}} \quad (11.11)$$

So'rilayotgan va chiqarilayotgan suyuqlik miqdorlarining farqi nasos korpusidan chiqib ketuvchi yoki ish diski atrofida aylanuvchi suyuqlik miqdoriga teng. Suyuqlik nasos sal'nigi, g'ildirakning so'rilish tomonidagi tig'izlagich va o'qiy bosimni muvozanatlovchi tirqish orqali yo'qolishi mumkin. Valning salnigidagi yo'qotish salnik tiqilmasining zichlanganligiga bog'liq bo'lib, ayrim tomchilar ko'rinishida oqib chiqsa o'rinli 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'rilish tomonidagi zichlanish (11.9-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 tirqishining ikki tomonida ikki xil p_1 va p_2 bosim bo'ladi.

Shunga asosan teshiklardan oqib ketuvchi suyuqlik sarfini topish formulasi-dan foydalanamiz:

$$Q_c = mw \sqrt{2g \frac{p_2 - p_1}{\gamma}} \quad (11.12)$$



11.9-rasm. Hajmiy yo'qotishlarni tushuntirishga doir chizma

Tirqishning kengligi δ , uzunligi l deb qabul qilib, halqa tirqishdan sizib ketish uchun sarf koeffitsiyentini yozamiz:

$$m = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda\gamma}{2\delta} + 1,5}}$$

λ koeffitsiyentining qiymati 0,04 – 0,08 atrofida olinadi.

Tirqishning 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'rilayotgan 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_{vak} va chiqishda o'rnatilgan manometr ko'rsatgan bosim p_{man} orqali quyidagi formula yordamida aniqlangan

$$H^* = \frac{p_{vak}}{\gamma} + \frac{p_{man}}{\gamma} + \Delta z.$$

Bosim bilan (11.6) 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 (11.10 - rasm, a) va qisman yopiq bo'lgandagi (11.10 - rasm, b) harakatni ko'z oldimizga keltiramiz. Birinchi holda kanalda suyuqlik g'ildirak aylanishiga teskari yo'nalishda sirkulyasion harakat qiladi. Ikkinchi holda kanalning botiq devorida harakat oqimcha shaklida bo'lib, qavariq devorida uyurmali harakat paydo bo'ladi. Natijada qavariq devor tomondan bosim kamayib, kavitasiya hodisasini vujudga keltiradi. Kavitasiya natijasida gidravlik yo'qotish ko'payib ketadi. Nasoslarda energiyaning umumiy yo'qotilishi foydali ish koeffitsiyenti yordamida hisoblanish mumkin.

Umumiy FIK mexanik, hajmiy va gidravlik foydali ish koeffitsiyentlarining ko'paymasiga teng:

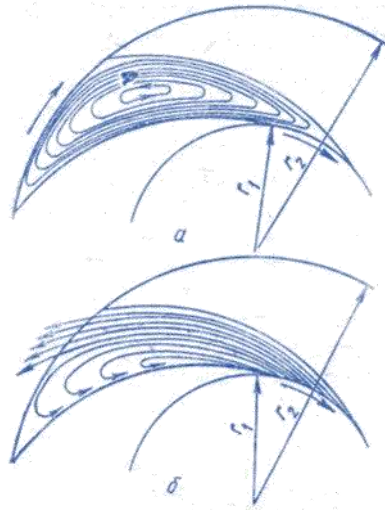
$$\eta = \eta_m \eta_h \eta_g \quad (11.13)$$

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

$$E = \eta E_f = \eta H^*.$$

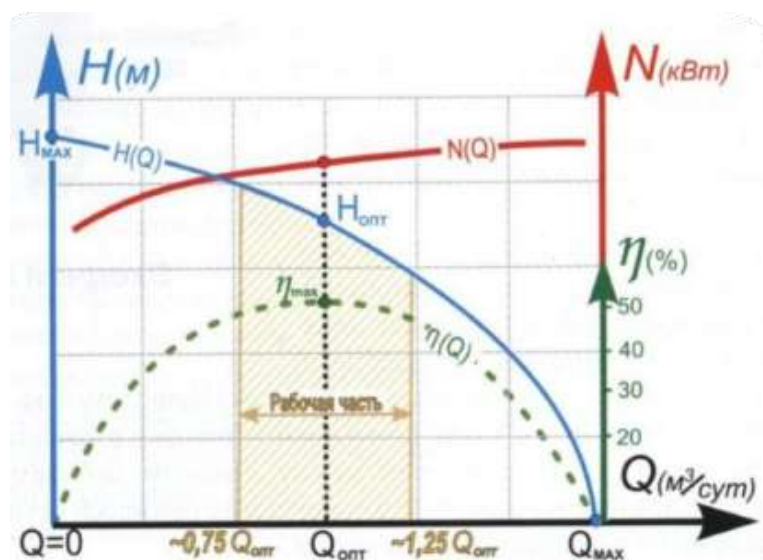
Har xil nasoslar uchun foydali ish koeffitsiyentlari grafik va jadval ko'rinishida beriladi.



11.10-rasm. Ish g'ildiragi kuraklari orasidagi harakatning notekisligiga doir chizma

11.7 Markazdan qochma nasoslarning xarakteristikalari

Nasoslarni ishlatishda 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 xarakteristikalari ko'rinishida beriladi. Odatda, xarakteristika nasosni sinash (tajriba) yordamida tuziladi. Buning uchun nasosning aylanish sonini o'zgartirmasdan, haydash trubasiga o'rnatilgan berkitkichni surish yo'li bilan bosimni o'zgartirsak, uning ishlash tartibi ham o'zgaradi. Natijada quvvat va foydali ish koeffisienti ham o'zgaradi.



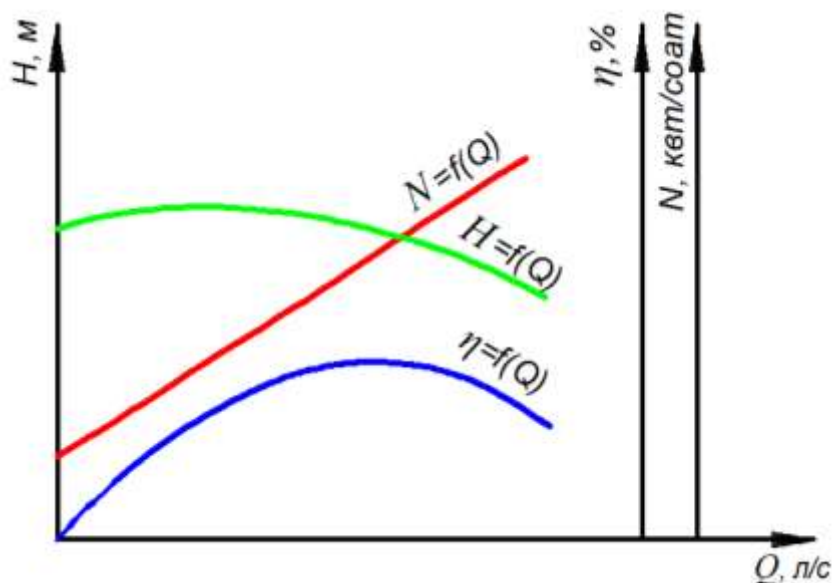
11.11-rasm. Markazdan qochma nasos xarakteristikalari

($Q = 0$) nasos ma'lum bosim hosil qiladi va u berkitgichning ochilishi bilan kamayib boradi (boshlanishda bosim bir oz ortib borib, maksimumga yetishi va so'ngra kamayib ketishi mumkin). Quvvat esa ortib boradi va chiziqli ortishga yaqin bo'ladi. Sarfning katta qiymatlarida bu ortish bir oz susayishi mumkin. FIK

grafigi noldan boshlanadi va sarfning ma'lum bir miqdorlarida maksimumga ega bo'ladi.

Napor, quvvat va foydali ish koeffitsientlarining sarfga bog'liqlik grafiklari nasosning xarakteristika grafiklari deyiladi:

Nasosning napor xarakteristikasi	$H = f_1(Q)$;
Nasosning quvvat xarakteristikasi	$N = f(Q)$;
Nasosning FIK xarakteristikasi	$\eta = f(Q)$;



11.12-Пасм. Markazdan qochma nasoslarining taxminiy ish xarakteristikasi

Odatda, xarakteristika nasosni sinash (tajriba) yordamida tuziladi. Buning uchun nasosning aylanish sonini o'zgartirmasdan, haydash trubasiga o'rnatilgan berkitkishni surish yo'li bilan bosimni o'zgartirsak, uning ishlash tartibi ham o'zgaradi. Natijada quvvat va foydali ish koeffitsiyenti ham o'zgaradi. Xarakteristikani tuzish uchun sinashni berkitgich to'liq yopilgan holatdan boshlab, ochib boramiz va bosim, quvvat va FIKning sarf bo'yicha o'zgarishini 11.11 - rasmda ko'rsatilgandek grafiklar tuzamiz.

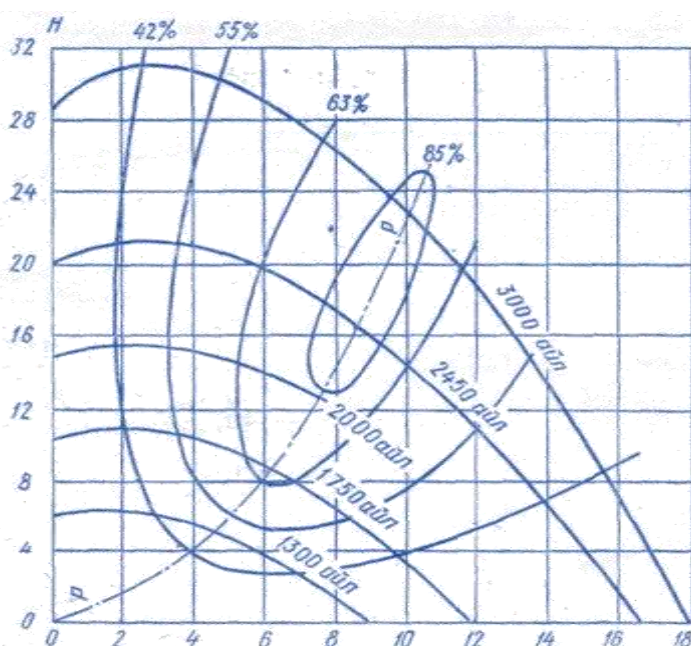
Grafiklardan ko'rinadiki, berkitgich yopiq holatida ($Q = 0$) nasos ma'lum bosim hosil qiladi va u berkitgichning ochilishi bilan kamayib boradi (boshlanishda bosim bir oz ortib borib, maksimumga etishi va so'ngra kamayib ketishi mumkin). Quvvat esa ortib boradi va chiziqli ortishga yaqin bo'ladi. Sarfning katta qiymatlarida bu ortish bir oz 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.

11.11-rasmda keltirilgan grafiklarning xakteri 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.

Bunday xarakteristikani xosil qilish uchun turli aylanish sonlari ($n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$) da $Q-H$ xarakteristikani tuzamiz (11.13-rasm). So'ngra bu xarakteristikani biror FIK ga tegishli nuqtalarini ajratamiz (11.12-rasmda ko'rinadiki, bitta FIK ning qiymati uchun ikkita bosim miqdori to'g'ri keladi). Bu nuqtalar tutash chiziq bilan birlashtiramiz. Shu ishni bir qancha FIK ($\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_i$) uchun takrorlab, bir qancha tutash chiziqlar olamiz. Bu chiziqlar bilan chegaralangan soxada FIK chizig'idagi qiymatdan kichik bo'lmaydi. p – p chizig'i berilgan aylanish sonlarida maksimal FIK ga to'g'ri keladi. Universal xarakteristikadan foydalanib nasosning (maksimal FIK ga tegishli) ishlash chegarasini topish va uning ishlashi uchun eng qulay tartib tanlash mumkin.



11.13 - rasm. Markazdan qochma nasoslarning universal xarakteristikasi

11.8 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 koeffisiyenti hisoblanadi va umumlashgan kataloglar yigma grafigida nasos tamg'asi tanlanadi. Tanlangan tamg'aga qarab, nasos katalogidan kerak bulgan nasos xarakteristikalari yozib olinadi.

11.9 Nasoslarni tamg`alash.

Nasoslarni tamg`alashda asosan uchta kattalik hisobga olinadi:

1. Nasoslar turi harflar bilan belgilanadi. Masalan K -konsolnay, O -osevoy (o`qiy), V -vertikalniy (vertikal) va hokazolar.

2. Sarfi, m^3 /soat yoki m^3/s - katta nasoslar uchun.

3. Dami, m -da.

Masalan: $K 8/18$ – konsol nasos, sarfi $Q = 8 m^3/s$ va dami $H = 18m$; $NK 200/210$ – n – neft nasos, K - konsoli, sarfi - $Q = 200 m^3/ soat$, dami $H = 210m$.

11.10 Nasoslarning o`xshashligi asoslari.

Loyihalananayotgan 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`lchamlari bir xil miqdorda kichraytirilgan bo`ladi. Boshqacha aytganda ishchi g`ildiragi diametrlari 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.

Ikkinchi, natura va modeldagi oqimlar o`xshash bo`ladi. Oqimlar o`xshash deganda ish g`ildiragiga kirish va chiqishdagi tezlik uchburchaklari o`xshash bo`ladi:

$$\frac{u_{1n}}{u_{1m}} = \frac{u_{2n}}{u_{2m}} = \frac{w_{1n}}{w_{1m}} = \frac{w_{2n}}{w_{2m}} = \frac{c_{1n}}{c_{2m}} = const.$$

Agar modellanganda geometrik o`lchamlari nisbati λ 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 uchun ham to`g`ridir.

Olingan munosabatlarni sarf formulasi (11.13) ga qo`llasak, quyidagi munosabatni olamiz:

$$\frac{Q_n}{Q_m} = \lambda^3 \frac{n_n}{n_m}. \quad (11.14)$$

Nasoslar uchun asosiy tenglama (11.6) dan

$$\frac{H_n}{H_m} = \lambda^2 \frac{n_n^2}{n_m^2} \quad (11.15)$$

Quvvat formulasi (11.14) va (11.15) dan

$$\frac{N_n}{N_m} = \lambda^5 \frac{n_n^3}{n_m^3} \quad (11.16)$$

Shunday qilib, nasoslar o`xshashligi quyidagi xulosaga olib keladi:

1. Natura va modeldagi 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 ishlatishda 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.

11.11 Tezyurarlik koeffisiyenti va kurakli nasoslarning turlari.

Markazdan qochma nasoslarni bir-biri bilan tezyurarlik koeffisiyent yordamida solishtirish mumkin. Tezyurarlik koeffisiyenti, boshqacha aytganda solishtirma aylanish soni deb shunday aylanish soniga aytiladiki, u bosim bir metr ($H = 1$ m) bo'lganda nasos berayotgan suyuqlikka bir ot kuchi (0,735 kVt) ga teng energiya berishga imkon beradi va n_s harfi bilan belgilanadi.

Shunday qilib, tezyurarlik koeffisiyenti nasosning suyuqlikka berilgan energiyasining baholash uchun foydalanishga va shu yo'l bilan turli nasoslarni bir-biriga solishtirish imkon beradi.

$$\text{Foydali quvvat formulasi} \quad N = \frac{\gamma Q H}{75}$$

dan foydalanib birlik nasosning sarfini topamiz.

$$Q_m = \frac{75N}{\gamma H} = \frac{75 \cdot 1}{10001} = 0,075 m^3 / s$$

Birlik nasos model bo'lsa, uni natura nasosga (13.13) formula yordamida solishtirib, sarf formulasini chiqaramiz:

$$Q = 0,075 \lambda^3 \frac{n}{n_s} \quad (11.17)$$

Bu formulani chiqarishda model va naturada FIK bir xil deb qabul qilinadi.

Bosim uchun o'xshashlik formulasi (13.14) ni ($H = 1$ m ekanini nazarda tutib) quyidagicha yozish mumkin:

$$H = \lambda^2 \frac{n^2}{n_s^2}, \quad (11.18)$$

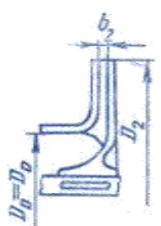
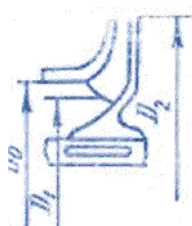
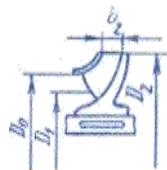


(13.16) va (13.17) tenglamalardan λ ni yo'qotib va hosil bo'lgan tenglamani tezyurarlik koeffisiyenti n_s ga nisbatan yechib, ushbuga ega bo'lamiz:

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3,14}} \quad (11.19)$$

Bu formuladan ko'rinadiki, natura nasosning aylanish soni tezyurarlik koeffisiyentiga proporsionaldir. Bundan xulosa qilib aytish mumkinki, aylanish sonining (ya'ni tezyurarlik koeffisiyentining) ortishi bilan nasosning o'lchamlari va og'irligi kamayadi (1.13 - rasm).

Tezyurarlik koeffitsiyentining qiymatiga qarab nasoslar quyidagicha klassifikasiyalanadi:

n_s qiymatining chegarasi	Markazdan qochma nasosning turi
40 ÷ 80	sekinyurar
80 ÷ 150	o`rtacha
150 ÷ 300	tezyurar
300 ÷ 600	vintli (diagonal)
600 ÷ 1200	o`qiy (parrakli)

Markazdan qochma nasoslar			Diagonal nasos g`ildiragi	Parrakli nasos g`ildiragi
Sekinyurar g`ildirak	Oddiy g`ildirak	Tezyurar g`ildirak		
I	II	III	IV	V
 <p>$n_{sI}=40\div 80$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 2,5$</p>	 <p>$n_{sI}=80\div 150$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 2,$</p>	 <p>$n_{sI}=150\div 300$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1,8\div 1,4$</p>	 <p>$n_{sI}=300\div 600$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 1,2\div 1,1$</p>	 <p>$n_{sI}=600\div 1200$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 0,8$</p>

1.14-rasm. Nasoslarning tezyurarlik koeffitsiyentiga qarab guruhlash

1.14 -rasmida 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).

Takrorlash uchun savollar:

1. Nasoslarning asosiy parametrlari nimalar?
2. Nasosning quvvati va uning o`lchov birligi.
3. Nasosning foydali ish koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?
4. Nasosning xarakteristika grafiklari qaysilar va ular laboratoriya sharoitida qanday quriladi.?

12-bo'lim. Kurakli nasoslarning ekspluatasion hisobi

12.1 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 uchburchaklari o'xshash bo'lsa, nasos birinchi holda natura, ikkinchi holda esa model bo'lib xizmat 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 (11.14), (11.15), (11.16) formulalar quyidagicha yoziladi: birinchi o'xshashlik munosabati

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (12.1)$$

ikkinchi o'xshashlik munosabati

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \quad (12.2)$$

uchinchi o'xshashlik munosabati

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (12.3)$$

Bu formulalarni olishda FIK o'zgarimas deb qabul qildik. Haqiqatda ham, o'xshash nasoslarda gidravlik va hajmiy FIK deyarli o'zgarimaydi. 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.

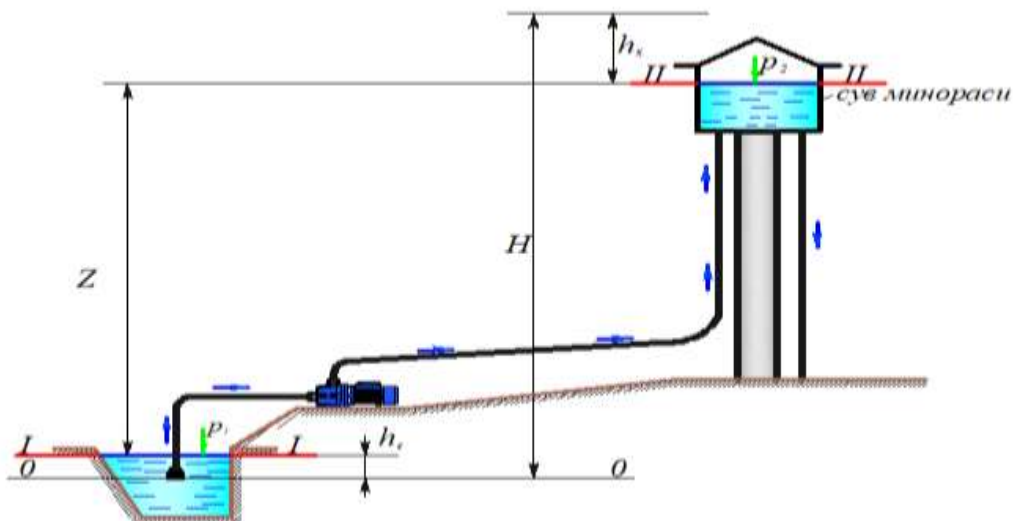
Olingan o'xshashlik munosabatlarini quyidagicha ta'riflanadi. Nasosning aylanishlar sonini o'zgartirganda uning xarakteristikalarini yangi o'zgarish soniga moslab, qayta hisoblash mumkin. Bunda:

- 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.e

12.2 Nasos qurilmasi

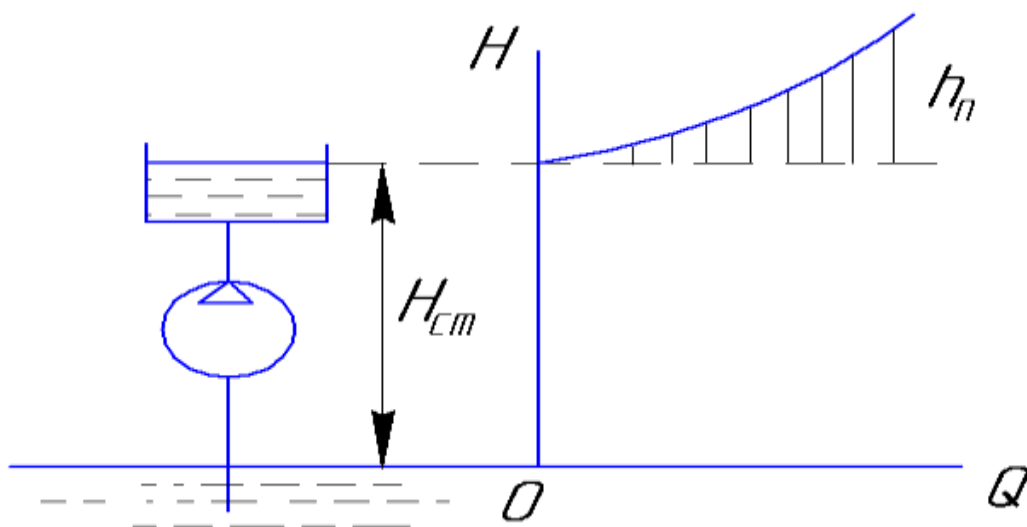
Nasos qurilmasini asosan nasos, nasosning so'ruvchi quvuri, nasosning haydovchi quvuri, nasosning so'ruvchi quvuriga o'rnatilgan klapan, nasosning so'ruvchi va haydovchi quvuridagi bosimni ko'rsatuvchi bosim o'lchash asboblaridan tashkil etadi (12.1–rasm).



1-nasos; 2-nasosning so'ruvchi quvuri; 3-nasosning haydovchi quvuri.

12.1 - rasm. Nasos qurilmasining sxemasi

Nasos qurilmasining so'ruvchi va haydovchi quvurlari diametrlarini aniqlash muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Biz gidravlika bo'limida ko'rganimizdek, quvurlarni hisoblashda uning xarakteristikasini tuzish yoki qarshilikni yengish uchun sarf bo'ladigan energiyani hisoblash zarur bo'ladi (12.2–rasm). Sarflanadigan energiya quvurning uzunligi va diametri, qarshilik koeffitsiyenti, mahalliy qarshiliklar va boshqalarga bog'liq.

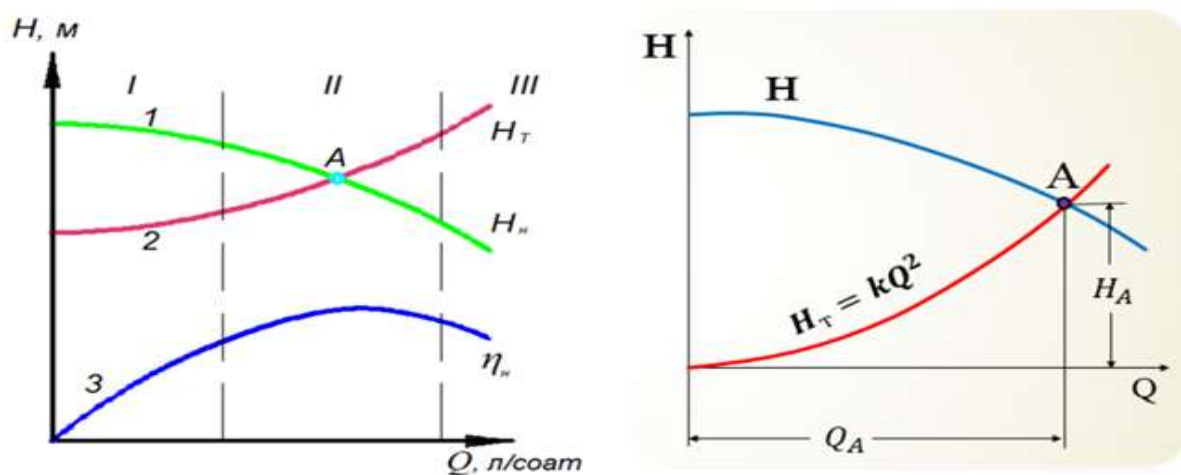


12.2 - rasm. Nasos qurilmasining (quvurning) xarakteristikasi

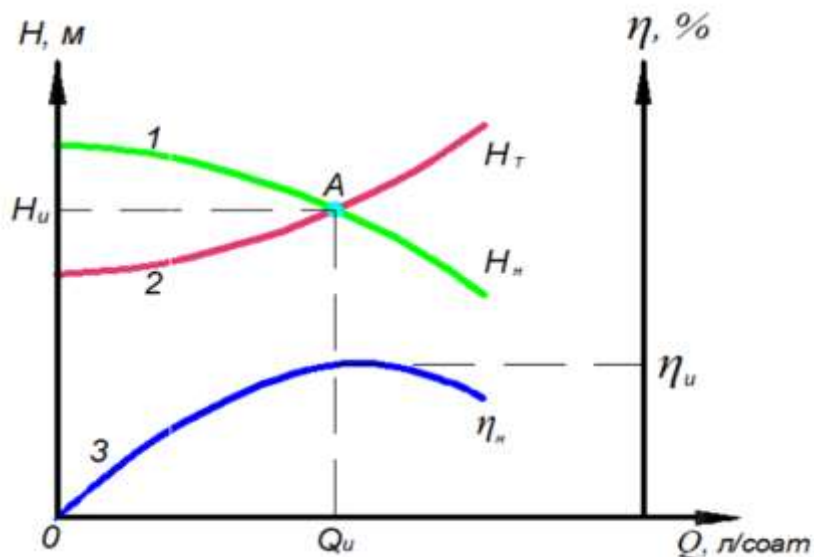
12.3 Nasos ishchi nuqtasini aniqlash

Quvurlardagi gidravlik qarshiliklarni yengish va tegishli sarf olish uchun nasoslardan ham foydalanish mumkin. Bunda albatta nasosning napori kerakli napordan kichik bo'lmagan nasos ishchi nuqtasi (A) aniqlash lozim bo'ladi. Nasos ishchi nuqtasi (A) deb nasos napor xarakteristikasi va nasos qurilmasining xarakteristikasining kesishgan nuqtasiga aytiladi. Haydovchi quvurlarda kerakli sarfni olish uchun yetarli naporni hosil qilib bera oladigan nasosni tanlashda

nasosning va quvurning napor xarakteristikalari chiziladi va kesishgan nuqtasidan nasos ishchi nuqtasi (A) aniqlanadi (12.3-rasm).



12.3 - rasm. Nasos ishchi nuqtasini aniqlash



12.4 - rasm. Nasos ishchi parametrlarini aniqlash

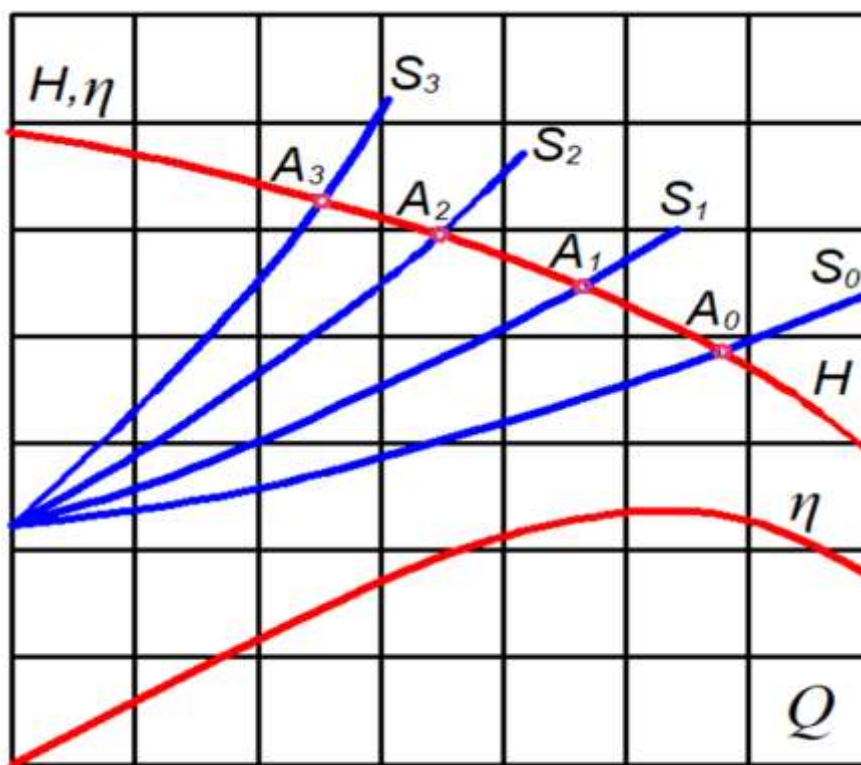
$$N_B = \frac{\rho g Q_u H_u}{\eta_u}, \text{кТ} ;$$

$H_H =$
 $Q_H =$
 $\eta_H =$

12.4 Nasos ishini boshqarish

Nasoslar, odatda, quvurlar tizimida hosil qilinishi zarur bo'lgan eng ko'p so'rishga qarab tanlab olinadi. Lekin nasoslarni ishlatish vaqtida, ko'pincha, haydash quvurlariga kamroq sarf yuborish zarurati tug'ilib qoladi, ya'ni so'rishni ancha keng chegara oralig'ida o'zgartirib turish kerak bo'ladi. Bundan ko'rinadiki, sarfni o'zgartirish uchun nasosning xarakteristikasini, yoki quvurning xarakteristikasini o'zgartirish kerak ekan. Amalda nasos ishini boshqarish bir qancha usullari mavjud.

1. Drossellash.
2. Sarfning ma'lum qismini qaytarish.
3. Nasosning aylanishlar sonini o'zgartirish.
4. Ish g'ildiragi kuraklarining joylashish burchaklarini o'zgartirish.
5. Ishlayotgan nasoslar sonini o'zgartirish.



12.5 - rasm. Nasosning ishchi nuqtasini boshqarish (drossellash usuli orqali)

12.5 Nasosni tanlash

- Nasosni tanlash asosan ikkita kattalik: uzatish kerak bulgan sarf - Q va berilishi kerak bulgan napor - H hamda aylanishlar chastotasi - P asosida amalga oshiriladi.
- Yuqorida keltirilgan kattaliklar asosida tezkorlik koeffitsiyenti hisoblanadi va umumlashgan kataloglar yigma grafigida nasos tamg'asi tanlanadi.

Tanlangan tamg'aga qarab, nasos katalogidan kerak bulgan nasos xarakteristikalarini yozib olinadi.



Nasoslarni tamg'alah (markasi).

Nasoslarni tamg'alahda asosan uchta kattalik hisobga olinadi:

1. Nasoslar turi harflar bilan belgilanadi. Masalan K-konsolnay, O- oseyoy (o'qiy), V-vertikalniy (vertikal) va hokazolar.
2. Sarfi, m³/soat yoki m³/s – katta nasoslar uchun.
3. Napori, m-da. Masalan: K 8/18 – Konsol nasos, sarfi Q = 8 m³/s va napori H = 18m; NK 200/210 – N – neft nasos, K- konsoli, sarfi – Q = 200 m³/ soat, napori H = 210m.

12.6 Nasoslarni quvurga ulash. nasoslarni ketma-ket va parallel ulash. Nasoslarning parallel ishlashi

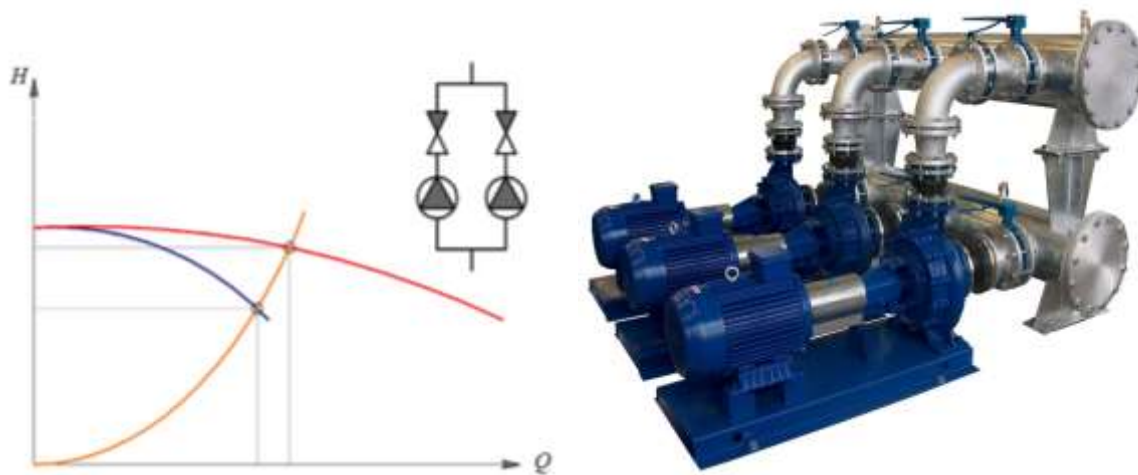
Bir nasos kerakli suv sarfini uzata olmaganda, ikki yoki undan ortik nasosni ishlatishga to'g'ri keladi. Bir necha nasosning umumiy haydash quvuriga suv uzatishiga nasoslarni parallel ulab ishlatish deyiladi.



12.6 - rasm. Nasoslarning parallel ishlashi

Parallel ishlayotgan nasoslarni xarakteristikalarini odatda bir xil bo'lishi kerak (12.7-rasm), lekin har xil xarakteristikali nasoslarni ham parallel ishlatish mumkin (12.8-rasm). Agar bir xil markali nasoslar bir biriga ta'sir qilmasa sarfi va napori quyidacha bo'ladi:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2; \quad \sum H = H_1 + H_2;$$



12.7-rasm. Bir xil markali nasoslarning parallel ishlashi

Nazariy suv sarfi: $Q_{quv} = Q_1 + Q_2 = 2Q$.

Parallel ulashning asosiy shartlari:

$$Q_{um} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad H_{um} = H_1 = H_2 = \dots = H_n$$

Gidravlik qarshiliklar natijasida, ma'lum miqdorda napor yo'qotiladi. Shuning uchun, umumiy quvurdagi suv sarfi, ikkala nasosning suv sarflari yig'indisiga teng emas, balki kichikroq bo'ladi.

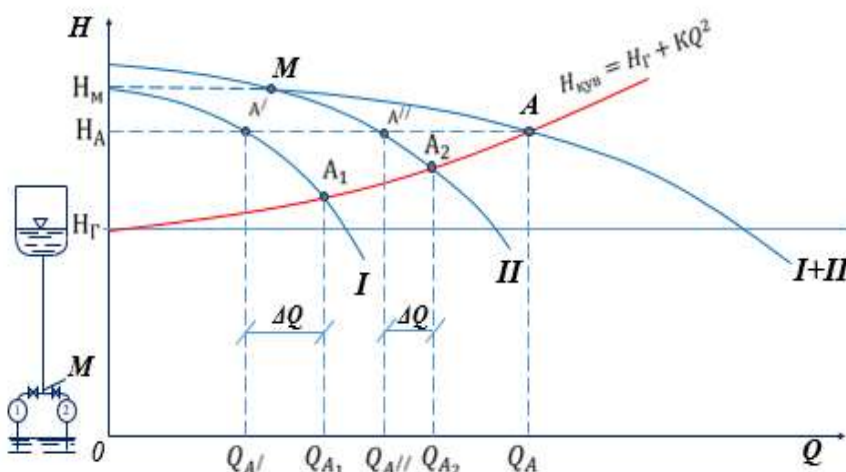
$$Q_{quv} = Q_1 + Q_2 < 2Q \quad \text{yoki} \quad Q_{KYB} = (1,7 \dots 1,8)Q_{1,2} \quad (12.4)$$

Umumiy haydash quvurida tezlik oshganligi tufayli, gidravlik qarshiliklar ko'payadi, natijada ko'p miqdorda napor yo'qotiladi. Yo'qotilgan umumiy naporni topish uchun bir nasos ishlaganda yo'qotilgan napor miqdorini, parallel ishlayotgan nasoslar soni kvadratiga ko'paytirish kerak.

$$\Delta h_{n+i} = \Delta h_n \cdot n^2 \quad (12.5)$$

bu erda: n – параллел ишлаётган насослар сони.

Bu holda ham, nasoslardan umumiy haydash quvurigacha bo'lgan masofadagi gidravlik qarshiliklarni yo'q deb faraz qilamiz.



12.8-rasm. Har xil xarakteristikali nasoslarni parallel ulash

Ulardagi napor bir xil bo‘lmaganligi sababli, nasoslarni quyidagicha ishga tushiramiz: napor katta bo‘lgan nasosni ishga tushiramiz, u suv hayday boshlaydi va suv sarfi oshgan sari napor kamayib boradi; ishlayotgan nasosning napor, ishlab turgan, ammo zadviykasi yopiq turgan ikkinchi nasosning maksimal naporiga tenglashgandan so‘ng, zadviykani ochamiz. Shu (M) nuqtadan boshlab, ikkala nasos parallel ishlay boshlaydi, chunki $H = H_1 = H_2$ (12.8-rasm).

Napor katta bo‘lgan nasosdan uzatilayotgan suv, napor kichik bo‘lgan nasosning haydash quvuri orqali teskari oqmasligi uchun, napor kichik quvurga teskari klapan o‘rnatish kerak. Nasoslar parallel ishlagunga kadar, umumiy quvurdan o‘tayotgan suv sarfi, faqat napor katta bo‘lgan nasosga tegishlidir. Umumiy (M) nuqtadan so‘ng, nasoslar parallel ishlay boshlaydi va umumiy quvurdagi suv sarfi, ikki barobar ko‘payadi.

Ikkala nasos alohida ishlab uzatayotgan suv sarfi ular parallel ishlab umumiy bitta quvurga uzatayotgan suv sarfidan kattadir, ya’ni

$$Q_A = Q_A^I + Q_A^{II} < Q_{A1} + Q_{A2}. \quad (12.6)$$

bu erda: Q_A – ikkala nasosning umumiy suv sarfi; Q_A^I ; Q_A^{II} – har bir nasosning umumiy quvurga uzatayotgan suv sarfi; Q_{A1} ; Q_{A2} – har qaysi nasos alohida ishlaganidagi suv sarfi.

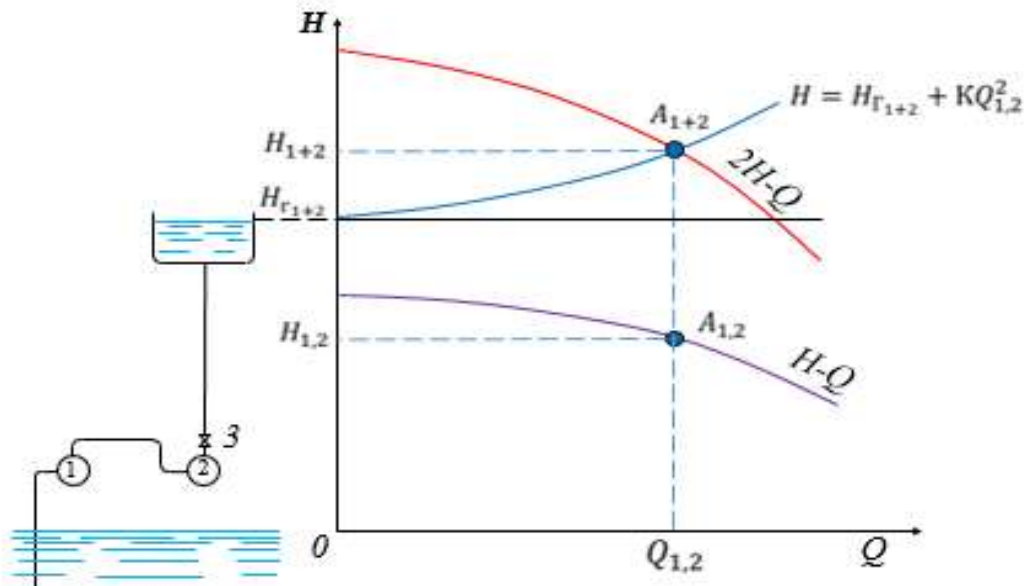
12.7 Nasoslarning ketma–ket ishlashi

Bir nasos kerakli balandlikka suvni chiqarib bera olmaganda, ikki yoki undan ortiq nasos ishlashiga to‘g‘ri keladi. Suvni birinchi nasos napor quvuri orqali ikkinchi nasosning so‘rish patrubkasiga uzatilishi, nasoslarni ketma – ket ulab ishlatish deyiladi. Nasoslarni ketma – ket ulash, umumiy naporini oshirish uchun qo‘llaniladi. Ketma – ket ulashning asosiy shartlari:

$$Q_{um} = Q_1 \neq Q_2 \neq \dots \neq Q_n \quad H_{um} = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

Ikkita ketma – ket ishlayotgan bir xil xarakteristikali nasos-larning umumiy napor xarakteristikasini qurish uchun, bitta na-sosning har bir suv sarfiga mos naporini ikki barobar ko‘payti-rish kerak. Ketma – ket ishlayotgan ikki nasosning ishchi nuqtasi, umumiy napor xarakteristikasining quvurlar sistemasi xarakteristikasi bilan kesishgan nuqtasi bo‘ladi. Bir xil xakteristika-li nasoslarning ketma-ket ishlash shartlari: suv sarfi $Q_{um}=Q_1=Q_2=\dots=Q_n$ napor $H_{um}=H_1+H_2+\dots+H_n=nH_1$

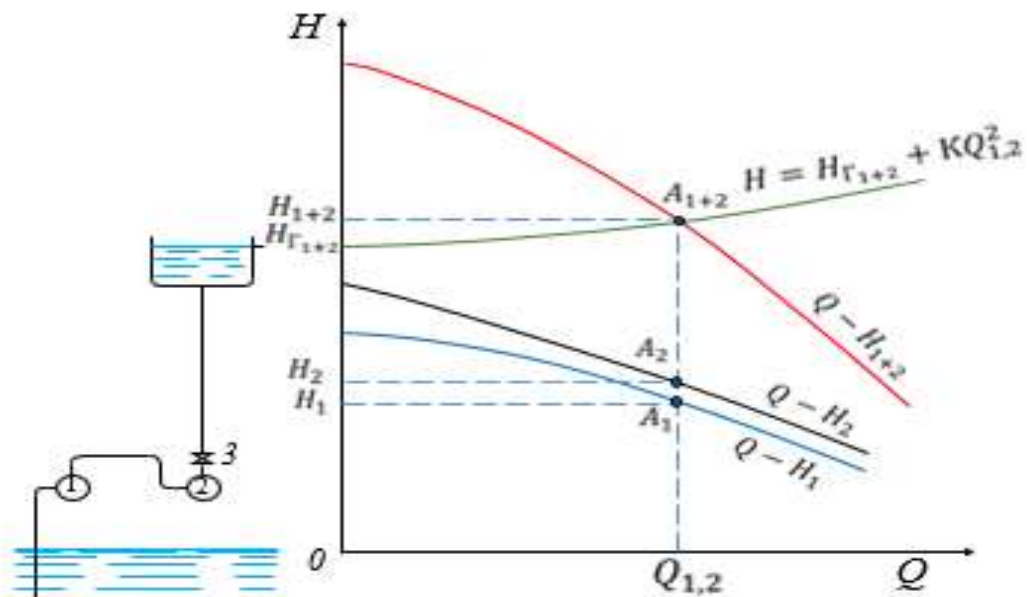
bu erda: n – nasoslar soni.



12.9-rasm. Bir xil xarakteristikali nasoslarni ketmaket ulash

Ketma – ket ishlayotgan har xil xarakteristikali nasoslarning har bir suv sarfiga mos naporlarni topish uchun nasoslar naporini bir – biriga qo‘shish kerak. Nasoslar nabori yig‘indisi bilan birin-chi nasos suv sarfi orasidagi bog‘lanish ularning umumiy napor xarakteristikasini beradi. Umumiy napor xarakteristikasidan biror nuqtaga mos keladigan har bir nasosning naporini topish uchun, umumiy ishchi nuqtasidan absissa o‘qiga perpendikulyar tushiramiz. Nasoslarning napor xarakteristikasi bilan perpendi-kulyarning kesishgan nuqtasidagi napor har bir nasosning A nuqtasi-dagi naporini beradi. Har xil xarakteristikali nasoslarning ketma-ket ishlash shartlari:

$$\text{suv sarfi} - Q_{yM} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n \quad \text{nabori} - H_{yM} = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$



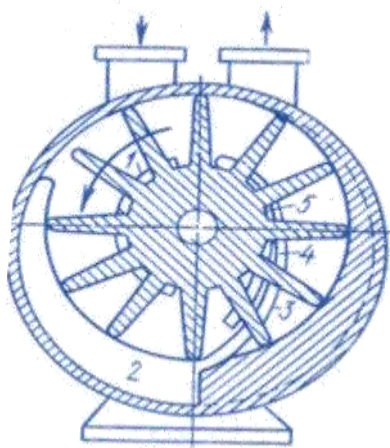
12.10-rasm. Har xil xarakteristikali nasoslarning ketma-ket ishlashi

13-bo'lim. Uyurmali va oqimchali nasoslar

13.1 Uyurmali nasoslarning sxemasi, ishlash prinsipi, xarakteristikasi, qo'llanish sohalari

Uyurmali nasoslar ishlash prinsipi bo'yicha markazdan qochma nasos hisoblanadi. Ularning o'ziga xosligi korpus devorida joylashgan konsentrik kanal mavjudligidir. Bu nasos yon kanallari uning loyihalarida o'zi so'ruvchi bo'lishi uchun zarur.

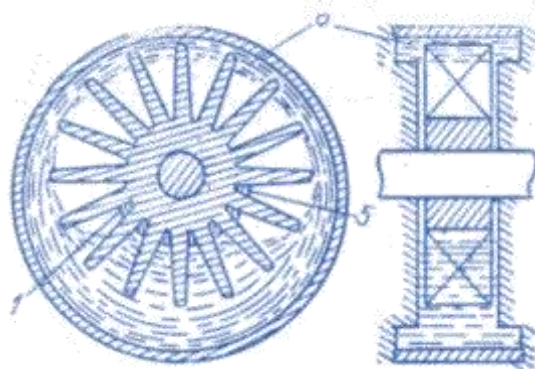
Nasosning ishlash prinsipi 13.1-rasmdagi sxema yordamida tushunish mumkin. Bu nasos korpusga nisbatan eksentrik joylashgan qanotli ish g'ildiragiga ega. Suyuqlik so'rish tirqishi 1 orqali ish kamerasiga kiradi va so'ngra u g'ildirak tomonidan bo'shliq 2 ga surib yuboriladi. Undan so'ng aylanma kanal 3 dan o'tib, tirqish 4 orqali haydash tirqishi 5 ga keladi.



13.1-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 suyuqlikni bo'shliq 2 ga surishida markazdan qochma kuch muhim rol o'ynaydi. Shu xususiyati bilan bu nasos markazdan qochma nasoslar turiga kiradi. Lekin ish g'ildiragi 4 orqali keltirilgan suyuqlikni tirqish 5 ga siqib kiritish nasos qanotlari orqali ilashtirib ketilayotgan suyuqlikning siquvchi 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 qochma nasosdagidek g'ildirakka markazdan kirib, kuraklar orasidagi kanaldan tashqariga qarab harakat qiladi. Bu nasos markazdan qochma nasoslardan suyuqlikning faqat so'rish tirqishining yuzasi bo'yichagina kirishi bilan ham farqlanadi. Kuraklar tomonidan tashqariga surilgan suyuqlik quyidagi ikki sababga ko'ra yo'naltiruvchi kanal bo'yicha harakatlanadi: suyuqlikni tashqariga haydovchi markazdan qochma 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'lchamlari bir xil bo'lgan markazdan qochma 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. Qanotlarining valga tutashgan joyida so'rish sohasi vujudga keladi. Atrofga to'plangan suyuqlik esa yon kanal 6 ning (13.2-rasm) eni kengroq bo'lgani uchun uyurma hosil qiladi. Havo massasi kichik bo'lgani uchun suv halqasi tomonga surilmay o'rtada to'planadi, so'ngra haydash teshigi 5 ga o'tib, undan haydash trubasiga kiradi yoki atmosferaga chiqarib yuboriladi.



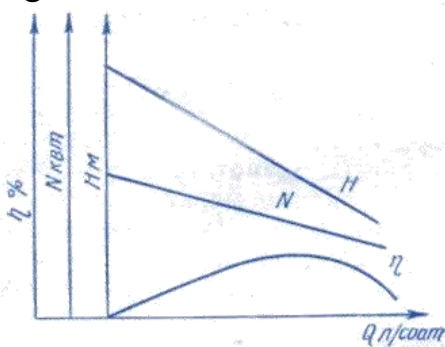
13.2 - rasm. Uyurmali nasoslarda uyurmaning hosil qilinishi va undan foydalanishni tushuntirishga doir sxema

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 nasoslar ham mavjud. (B-75, PD-10, AD, NKB, BMP-80 va h.) bo'lib, ular qo'yib turuvchi yordamchi nasoslar bilan ta'minlangan bo'ladi. Uyurmali nasoslar sarf ko'p bo'lmagan, lekin yuqori bosim zarur bo'lgan sistemalarda qo'llaniladi. Bu nasoslar o'zi bilan bir xil o'lchamli markazdan qochma nasoslarga nisbatan 3 – 3,5 baravar katta bosim hosil qiladi. Ularning asosiy kamchiligi foydali ish koeffitsiyenti kamligidir (odatda 0,45 dan oshmaydi).

Yon kanalli uyurmali nasoslar, markazdan qochma nasoslar kabi, ishlab chiqarishda ish xarakteristikalari yordamida tanlab olinadi. Ularning sarfi 12 l/s, hosil qilgan bosimi 25 atm (2451, 66 kN/m²), iste'mol quvvati 25 kVt ga yaqin bo'ladi. 13.3-rasmda uyurmali nasosning xarakteristikalari keltirilgan. Grafiklardan ko'rinadiki, ularda asosiy parametrlarning sarfga bog'liqligi qonuniyati markazdan qochma nasoslardan tamomila farqlanadi. Uyurmali nasosning so'rishi ortib borishi bilan uning bosimi chiziqli kamayadi. Nasos sarflagan quvvat esa markazdan qochma 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 koeffitsiyenti grafigi markazdan qochma nasoslarning shu grafigiga ko'rinishi bo'yicha o'xshash bo'lishiga qaramasdan miqdor jihatidan ancha kam bo'ladi.

Uyurmali nasoslarda bosimning markazdan qochma nasoslardagidan (4-10 marta) yuqori bo'lishi sababli ular saqlagich klapanlar bilan ta'minlangan bo'ladi. Bu nasoslar uchun markazdan qochma nasoslarning o'xshashlik formulalari (11.14), (11.15), (11.16) o'rinlidir. Nasosni bir aylanish sonidan ikkinchi aylanish soniga hisoblab o'tkazish, markazdan qochma nasoslar kabi (12.1), (12.2), (12.3)) formulalar yordamida amalga oshiriladi.



13.3-rasm. Uyurmali nasoslarning taxminiy ish xarakteristikalari

Uyurmali nasoslar, odatda, qovushoqligi kam bo'lgan suyuqliklarni so'rish uchun qo'llaniladi.

13.2 Oqimchali nasoslarning sxemasi, ishlash prinsipi va ishlatilish 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 13.4-rasmda keltirilgan. Truba 1 dan Q_1 sarfli ish 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 soplodan chiqqanidan keyin o'z inersiyasi bilan aralashtirish bo'limi 3 dan o'tib, soplo 4 ga kiradi, so'ngra sekin kengayuvchi diffuzor orqali haydash trubasi 6 ga o'tadi. Soplo 2 dan chiqib, p_2 bosim bilan bosimi p_2 dan yuqori bo'lgan aralashtirish bo'limidan o'tgani uchun 2 va 4 soplolar o'rtasida ikkinchi suyuqlik so'riladi. Shunday qilib, ish suyuqligining aralashtirish kameradagi 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'rnini egallaydi. Natijada haydash trubasiga sarfi Q_1 ga teng ish suyuqligi bilan, sarfi Q_2 ga teng so'rilayotgan suyuqliklar aralashmasi kiradi. Demak, unda sarfi $Q_1 + Q_2$ ga teng bo'lgan aralashma harakat qiladi. Bundan ko'rinadiki, nasosning foydali ish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

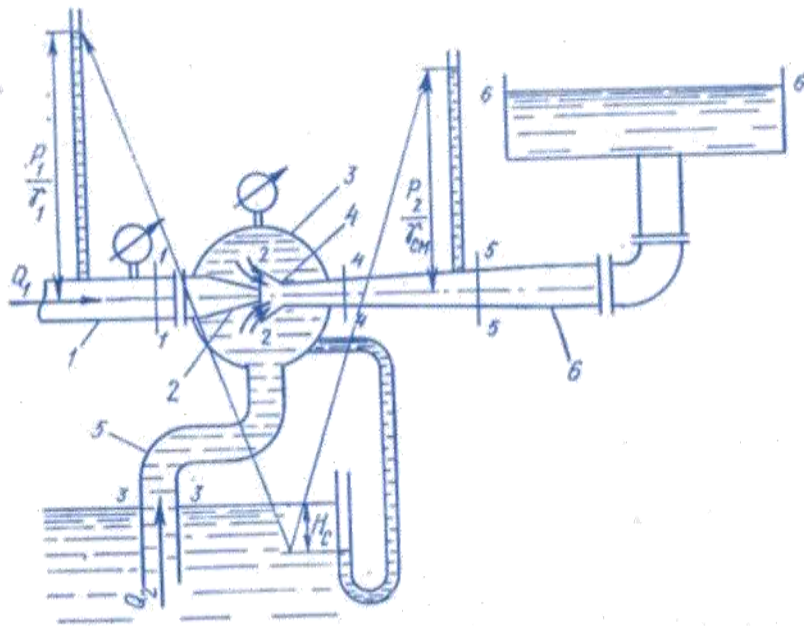
$$\eta = \frac{\gamma_2 Q_2 H_2}{\gamma_1 Q_1 H_1}.$$

Oxirgi formulada qatnashgan H_1 ni 1-1 va 2-2 kesimlarga Bernulli tenglamasini qo'llab topamiz:

$$H_1 = \frac{p_1 - p_2}{\gamma_1} + \frac{g_1^2 - g_2^2}{2g}.$$

So'rilayotgan suyuqlik uchun esa H_2 ni 2—2 va 3—3 kesimlarga Bernulli tenglamasini qo'llab topamiz:

$$H_2 = H_c + \frac{g_2^3}{2g} + h_c$$



13.4 - rasm. Oqimchali nasoslarning sxemasi

Kamchiligi: F.I.K. ning pastligi, tez ishdan chiqishi.

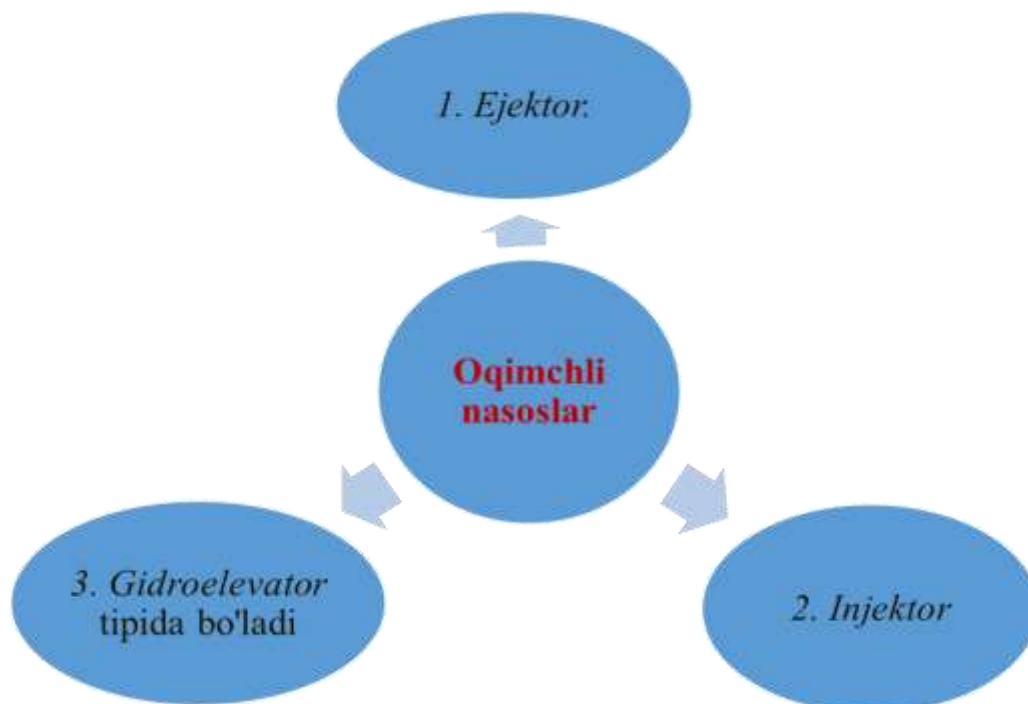
Oqimchali nasoslarning foydali ish koeffitsiyenti juda kichik bo'lib, taxminan $\eta = 0,15 \div 0,30$ ga teng. Nasosning o'lchamlari qancha kichik bo'lsa, FIK ham shuncha kichik bo'ladi.

Oqimchali nasoslar suyuqlik va gazlarni so'rish va ko'tarish (ejektor va gidroelevatorlar) hamda qizdirish va aralashtirish (oqimchali aralashtirgish, qizdirgish 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 foydalaniladi. Neft sanoatida oqimchali nasoslar asosan aralashtirgishlar sifatida keng qo'llaniladi.

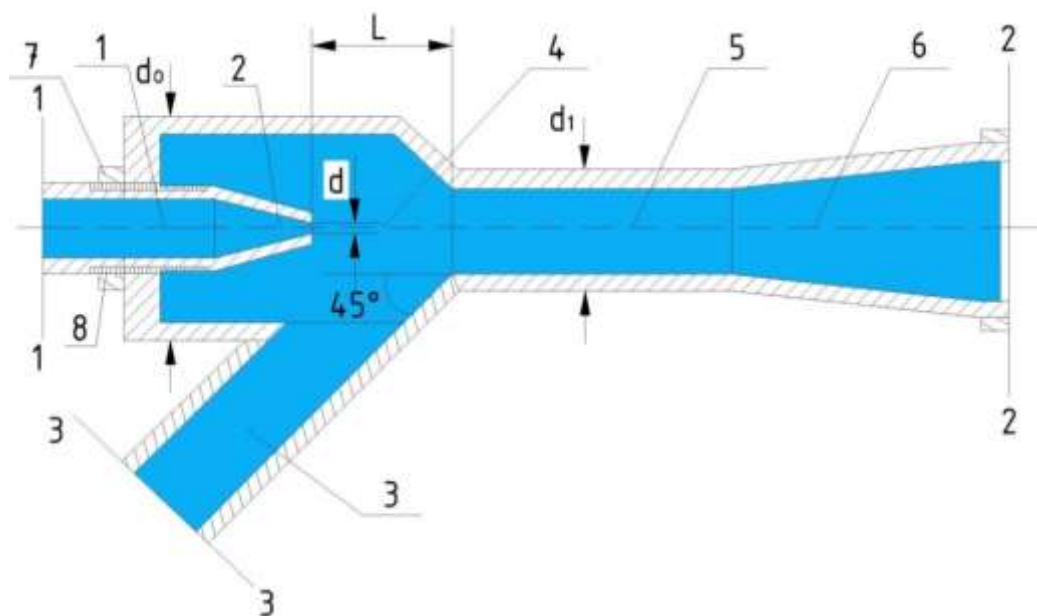
Oqimchali nasoslar afzalligi:

- Oqimchali nasoslar konstruksiyasi jihatdan soda va ishonchli ishlaydigan nasosdir.
- Ularning o'ziga xos xususiyati shundaki, ularda harakatlanuvchan qismlar bo'lmaydi.
- Ular ishchi suyuqlik turiga qarab injektor, ejektor, erlift va gazlift turlariga bo'linadi.
- Oqimchali nasoslarning ishlashi ishchi suyuqlikning kinetik energiyasidan foydalanishga asoslangan. Ishchi suyuqlik nasos haydayotgan suyuqlik bilan aralashib, o'zining kinetik energiyasining bir qismini unga beradi va hosil bo'lgan aralashma tarmoqqa haydaladi.

- Ishchi suyuqlik sifatida gaz (yoki bug‘), shuningdek turli kombinatsiyalarda olingan suyuqliklar ishlatilishi mumkin.
- Oqimchali nasoslar sanoatda asosan qurilish va konchilik ishlarini gidromexanizatsiyalashda, iflos suvni haydashda, shuningdek gazlarni so‘rib olishda ishlatiladi.



13.5- rasm. Oqimchali nasoslarning klassifikatsiyasi



13.6-rasm. Oqimchali nasos sxemasi

1-ishchi suyuqlik quvuri; 2-aktiv naycha (soplo); 3-suv keltiruvchi quvur; 4-o'tish qismi; 5-oqimlarning aralashish kamerasi; 6- diffuzor; 7-gayka; 8-ulanish qismi

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.

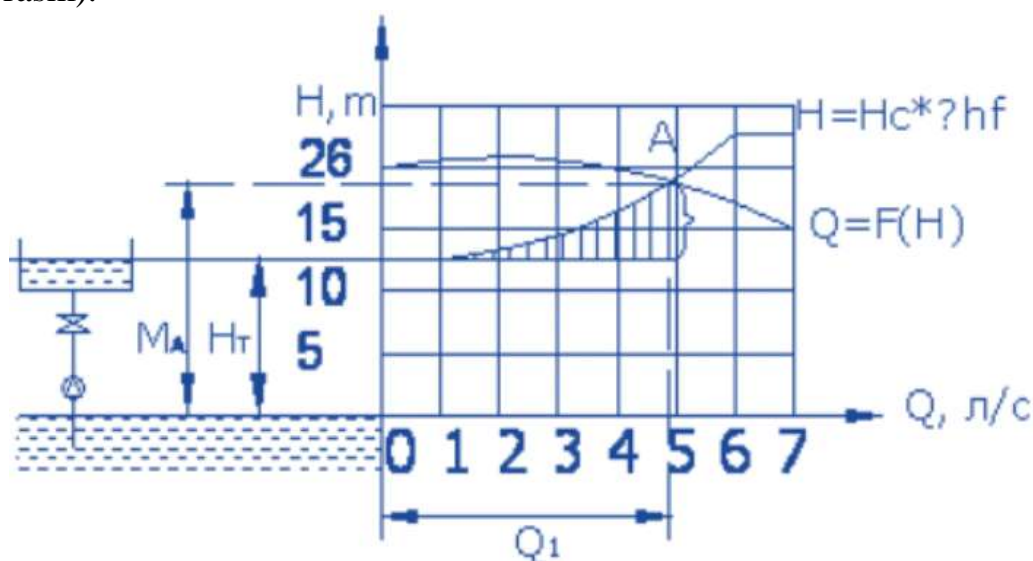
Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma

1-Masala. Markazdan qochma nasos (K 20/18) suyuqlikni $H_T = 14 \text{ m}$ balandlikka ko'tarmoqda. Nasos qurilmasining xarakteristikasi $H_K = H_T - 160000 Q^2$; tenglama orqali ifodalansa, nasos ishchi nuqtasini aniqlash talab qilinadi.



13.7-rasm. Markazdan qochma nasos
Masalani yechish tartibi:

Nasos ishchi nuqtasi deb, nasos dam xarakteristikasi bilan, nasos qurilmasi xarakteristikasi (13.8-rasm)ning kesishgan nuqtasi (A)ga aytiladi. Ya'ni mazkur quvurga ulangan nasos uzatayotgan sarf – Q_A ga va beradigan napori H_A -ga teng (13.8-rasm).



13.8-rasm. Nasos ishchi nuqtasini aniqlash

I. Nasosning napor xarakteristikasi:

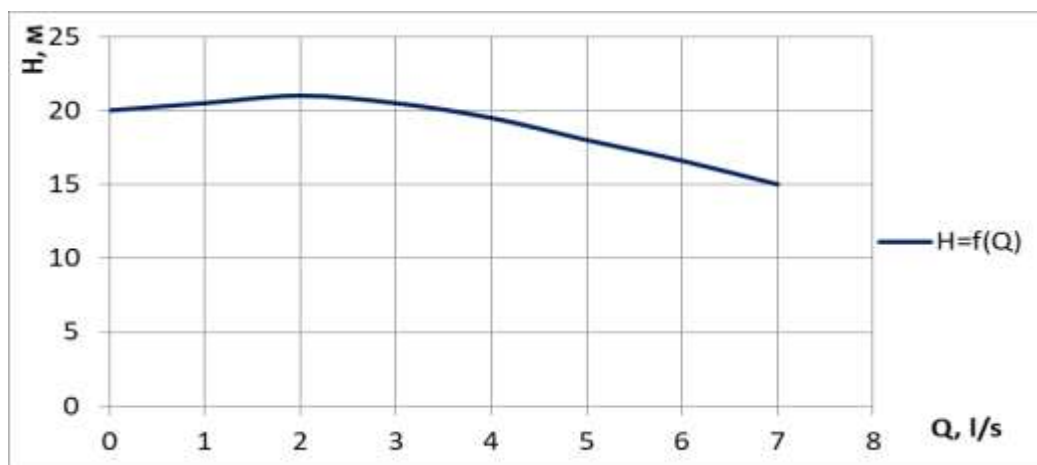
1. Nasoslar katalogidan foydalanib berilgan nasosni napor xarakteristikasini ko'chirib olamiz:

a) nasosning suv sarfini noldan maksimal qiymatgacha mos tushuvchi bosim qiymatlarini jadvalga yozamiz:

1-jadval

Q, l/s	0	1	2	3	4	5	6	7
H, m	20	20.5	21	20.5	18.5	16	14	12

1-jadval asosida quyidagi grafikni chizib olamiz.



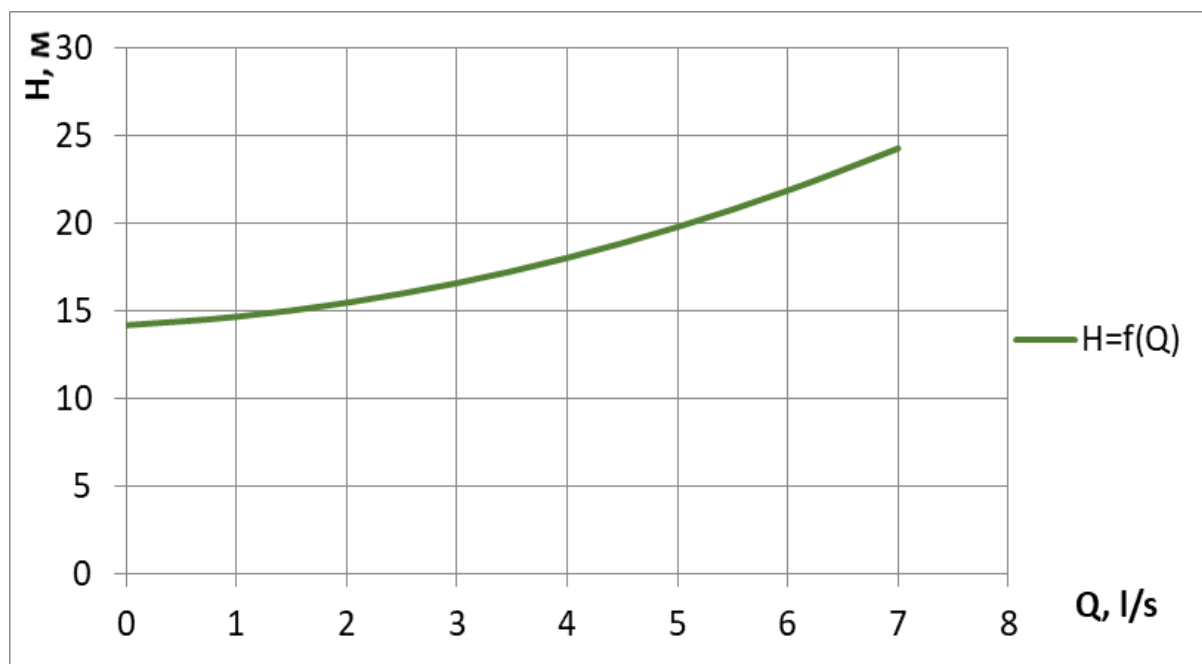
II Quvur xarakteristikasi:

a) $H_K = H_r + 160000 Q^2$; tenglama asosida quyidagi jadval to'ldiriladi:

2-jadval

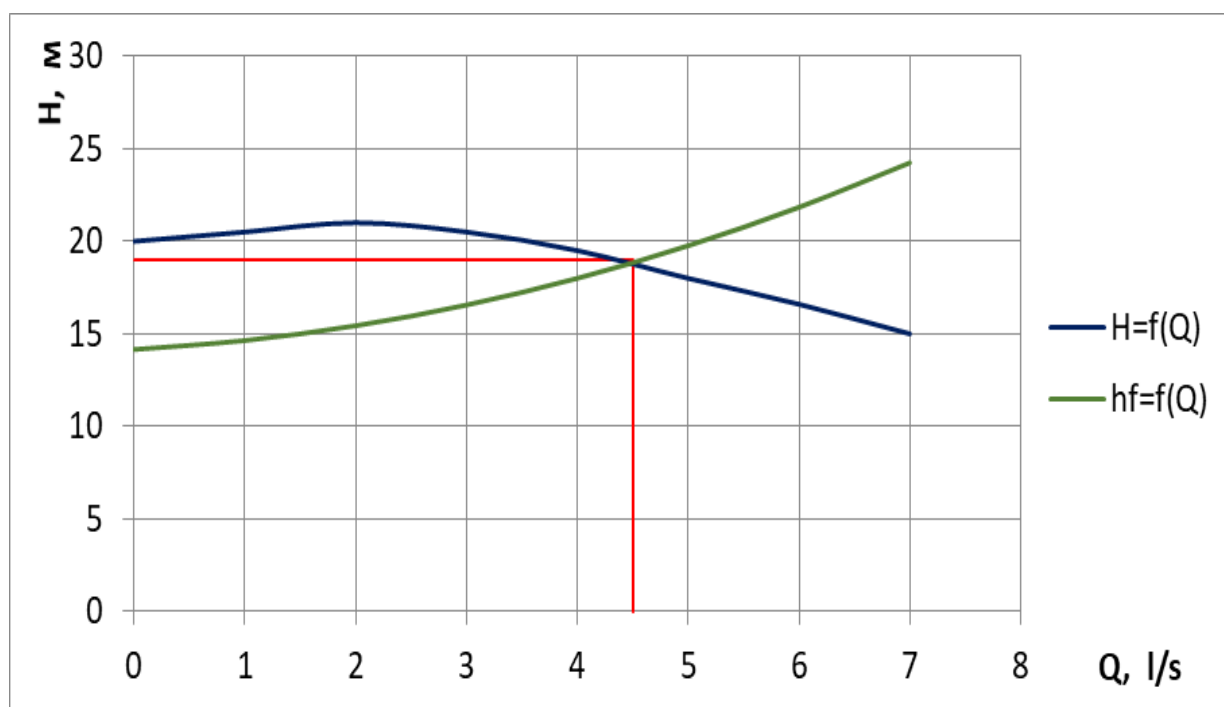
$Q, m^3/s$	$160000 Q^2$	$H_K = H_r + 160000 Q^2$
0,001	0,16	14,16
0,002	0,64	14,64
0,003	1,44	15,44
0,004	2,56	16,56
0,005	4,00	18,00
0,006	5,76	19,76
0,007	7,84	21,84
0,008	10,24	24,24

b) 2- jadval asosida quvur xarakteristikasi grafigini quramiz:



Nasosning ishchi nuqtasini aniqlash:

Yuqoridagi ikkala grafiklarni birlashtirib nasosning ishchi nuqtasini aniqlaymiz.



1.1 Markazdan qochma nasos (K 20/18) suyuqlikni $H_r = 14\text{m}$ balandlikka kutarmokda. Nasos qurilmasining xarakteristikasi $H_k - H_r + 160000 Q^2$ tenglama orqali ifodalansa, nasos ishchi nuqtasini aniklash talab qilinadi.

Yechimi: 1. Nasoslar katalogidan foydalanib berilgan nasosning dam xarakteristikasi ko`chirib olinadi:

a) nasosning suv sarfini noldan maksimal qiymatgacha mos tushuvchi bosim

b) qiymatlarini jadvalga yozamiz.

1 - jadval

Q л/c	0	1	2	3	4	5	6	7
H м	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.

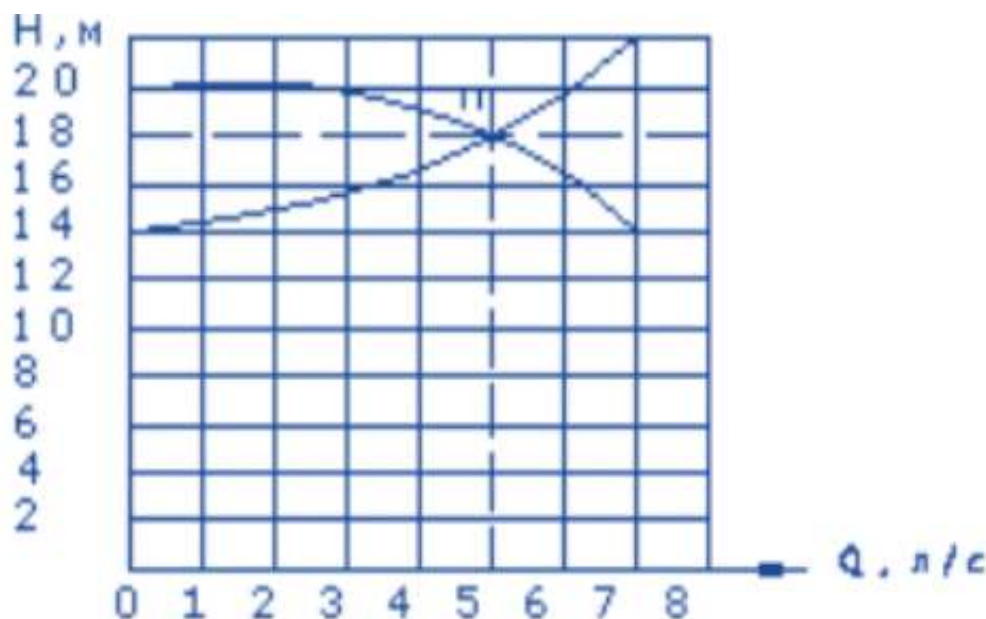
a) $H = Hr \cdot 160000Q^2$ tenglama asosida jadval tuziladi

2 - jadval

m^3/s	160 000	H
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



1.2 Nasosni sinovdan o'tkazish paytida quyidagi natijalar olindi: nasosdan chiqish qismida manometrik (ortiqcha) bosim $P^2 = 0.35$ MPa; nasosga kirish qismidagi vakuum $h_{vak} = 294$ mm.sim.ust.; sarf $Q = 6,5$ l/s; nasos valiga berilayotgan aylantiruvchi moment $M=41$ nm; nasos valining aylanish chastotasi $P = 800$ ayl/min surish va dam (haydash) quvurlarining diametri bir xil qarab, nasosning foydali quvvati va FIK aniqlansin. Yechimi: a) foydali quvvatni formula asosida aniqlaymiz:

$$N\phi = \gamma QH$$

$$H = \frac{P}{\gamma} \quad \text{bo'lsa} \quad N\phi = Q \cdot P$$

P – nasos bosimi, Pa.

$$P = P_m + P_{vak} = 0,35 + 0,0392 = 0,3892 \text{ mPa}$$

$$P_{vak} = 294 \cdot 133,32 = 0,0392 \text{ mPa}$$

$$N\phi = Q \cdot P = 0,0065 \cdot 389200 = 2530 \text{ vtm} = 2,53 \text{ kvtm}$$

B) (1.9) formuladan FIKni hisoblaymiz.

$$N = M \cdot \omega$$

$$\omega = \pi n / 30$$

$$N = M \cdot \omega = M \pi n / 30 = \frac{41 \cdot 3,14 \cdot 800}{30} = 3433 \text{ vtm} = 3,43 \text{ kvtm}$$

$$\zeta = \frac{N\phi}{N} = \frac{2,53}{3,43} = 0,74$$

Javob: $\zeta = 74\%$

1.3 Ish g'ildiragining diametri $D_1 = 60$ mm li markazdan qochma nasosning parametrlari (qiymatlari) dam (napor) $H_1 = 8$ m, sarf $Q_1 = 6$ l/s, aylanish chastotasi $n_1 = 3000$ ayl/min.

Dvigatelning sovutish sistemasi uchun, o'xshash rejimda ishlovchi va aylanish chastotasi $n_2 = 4000$ ayl/min.da $Q = 9$ l/s sarf beruvchi nasos kerak. Kerakli parametrlarni ta'minlash uchun ish g'ildiragini diametrini qanday o'zgartirish kerak. Shunda nasosning dami H_2 qancha bo'ladi,

Yechimi: 1. Ish g'ildiragining diametrini (1.19) formuladan aniqlaymiz:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 D_1^3}{n_2 D_2^3}; \quad D_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot D_1^3\right) \frac{Q_1}{Q_2}} = \sqrt[3]{\left(\frac{3000}{4000} \cdot 60^3\right) \frac{6}{9}} = \sqrt[3]{24300} = 62,4 \text{ mm}$$

2. Nasosning damini (1.16) formuladan aniqlaymiz:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^3}{n_2^2 D_2^2}$$

$$H_2 = \frac{n_2^2 D_2^2}{n_1^2 D_1^3} = 8 \cdot \frac{4000^2}{3000^2} \cdot \frac{62,4^2}{60^2} = 15,4 \text{ m}$$

Javob: $H_2 = 15,4 \text{ m}; D_2 = 62,4 \text{ mm}.$

1.4 Markazdan qochma nasosning $\omega = 250 \text{ s}^{-1}$ dagi xarakteristikasi $N_n = N_0 + k_1 Q - k_2 Q^2$ ko'rinishida yoziladi va berilgan quvurga (truboprovod) ishlaganda sarf $Q = 5 \text{ l/s}$ ga teng. Agar $N_0 = 4 \text{ m}$, $k_1 = 0,2 \cdot 10^3 \text{ s/m}^2$, $k_2 = 0,06 \cdot 10^5 \text{ s}^2/\text{m}^5$ bo'lsa, damini ikki marta oshirish uchun (sarf o'zgarmagan xolda) ish g'ildiragining burchak tezligi qancha bo'lishi kerak.
Yechimi: Damni aniqlaymiz:

$$Hh = H_0 + k_1 Q - k_2 Q^2 = 4 \text{ m} + 200 \text{ c} / \text{m}^2 \cdot 0,005 \text{ m}^3 / \text{c} - 60000 \text{ c}^2 / \text{m}^5 \cdot 0,000025 \text{ m}^6 / \text{c}^2 = 4 + 1 - 1,5 = 3,5 \text{ m}$$

$$Hh = 3,5 \text{ m}$$

$$\frac{Hh}{Hh^1} = \frac{n^2}{n^{12}}; n^{12} = \frac{Hh^1 n^2}{Hh}; \omega = \frac{\pi n}{30};$$

$$n = \omega : 0,105 = 250 : 0,105 = 2381 \text{ ayl/min}$$

$$n^1 = \sqrt{\frac{H^1 h \cdot n^2}{Hh}} = n \sqrt{2} = 2381 \cdot 1,41 = 3357^{\text{avA}} / \text{min}$$

$$\omega^1 = \frac{\pi n^1}{30} = \frac{3,14 \cdot 3357}{30} = 3357 \cdot 0,105 = 3525 \text{ c}^{-1}$$

Javob: $\omega = 3525 \text{ c}^{-1}$

1.5 Ish g'ildiragining diametri $D_1 = 250 \dots \dots$ li markazdan qochma nasos, aylanishlar chastotasi $n_1 = 1000 \text{ ayl/min}$ bulganida $H_1 = 12 \text{ m}$ damda $Q = 6,4 \text{ l/s}$ sarf uzatadi. O'xshash rejimda ishlovchi nasos $H_2 = 18 \text{ m}$ dan xosil qilib $Q_2 = 10 \text{ l/s}$ sarf uzatsa uning aylanishlar chastotasi n_2 va ish g'ildiragining diametri D_2 aniqlansin.

Yechimi: 1. (1.19) formuladan ish g'ildiragining diametrini aniqlaymiz:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 D_1^3}{n_2 D_2^3}$$

$$n_2 D_2^3 = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot n_1 \cdot D_1^3; n_2 = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \cdot n_1 \cdot D_1^3 \right) D_2^{-3}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^2}{n_2^2 D_2^2}$$

n_2 - qiymatni o'rniga qo'yamiz.

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2 D_1^2}{\left[\left(\frac{Q_1}{Q_2} n_1 \cdot D_1^3 \right) : D_2^3 \right]^2 \cdot D_2^2}$$

$$\frac{12}{18} = \frac{1800^2 \cdot 250^2}{\left[\frac{1800(250)^3}{D^{23}} \cdot 1,56 \right]^2 \cdot D_2^2} = \frac{1800^2 \cdot 250^2 \cdot D_2^6}{1800^2 \cdot 250^6 \cdot 1,56^2 D_2^2};$$

$$\frac{12}{18} = \frac{D_2^4}{250 \cdot 1,56^2};$$

$$D_2 = 250^4 \sqrt{\frac{12}{18} \cdot 1,56^2} = 250^4 \sqrt{1,627} = 1,13 \cdot 250 = 282,5 \text{ mm};$$

Aylanishlar chastotasini aniqlaymiz:

$$n_2 = \left(\frac{Q_1}{Q_2} \cdot n_1 D_1^3\right) : D_2^3 = \frac{1,56 \cdot 1800 \cdot 250^3}{(282,5)^3} = 1952 \text{ айл / мин}$$

Javob: $D_2^3 = 282,5 \text{ мм}$; $n_2 = 1952 \text{ айл / мин}$.

1.6 Suyuqlik xarakteristikasi $H = H_0 - k_1 Q^2$ tenglama orqali ifodalanuvchi markazdan qochma nasos orqali uzatiladi. Nasosning berishi kerak bo'lgan dam $H_k - k_2 Q^2$ tenglama bilan ifodalangan bo'lsa, nasos uzatayotgan sarfi va dami aniqlansin. Agar nasosning aylanishlar sonini va qarshilik koeffitsiyentini k_1 ni ikki marta oshirilganda, uzatilayotgan sarfi va dami qancha bo'ladi?
Yechimi: masala ikki usulda yechiladi.

I. Analitik usul.

1. $H = H_0 - k_1 Q^2$ va $H_k - k_2 Q^2$ tenglamani birgalikda echib, Q va H ni aniqlaymiz:

$$H_0 - k_1 Q^2 = k_2 Q^2$$

$$Q = \sqrt{\frac{H_0}{k_1 + k_2}} = \sqrt{\frac{5}{100000}} = 0,00707 \text{ м}^3 / \text{с}; Q = 7,07 \text{ л / с};$$

$$H = 5 - 50000 \cdot 0,00005 - 5 - 25$$

2. Aylanishlar soni chastotasi va quvurning qarshiligi ikki marta ortgan holda formulalardan foydalanib:

$$\frac{H_0}{H_0} = \frac{n^2}{n^2}; H_0 = H_0 \frac{n^2}{n^2} = H_0 \left(\frac{2}{1}\right)^2 = H_0 \cdot 4 = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}$$

$$H_0 = 20 \text{ м}$$

$$Q = \sqrt{\frac{H_0}{k_1 + k_2}} = \sqrt{\frac{20}{150000}} = 0,0115 \text{ м}^3 / \text{с}; Q = 11,5 \text{ л / с};$$

$$H = H_0 - k_1 Q^2 = 20 - 0,05 \cdot 10^6 \cdot 0,000133 = 20 - 6,67 = 13,33 \text{ м}$$

Javob: $Q = 7,07 \text{ л / с}$; $N = 2,5 \text{ м}$

$$Q = 11,5 \text{ л / с}; H = 13,33 \text{ м}$$

II. Grafoanalitik usul.

1. $H = H_0 - k_1 Q^2$ tenglamadan foydalanib nasos dam xarakteristikasini chizamiz.

1-jadval

Q л/с	0	1	2	3	4	5	6	7	8
H м	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.

0	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	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 $Q_A=7,01 \text{ l/c}$; $H_A=2,5\text{m}$ qiymatlarni olamiz.

B) aylanishlar chastotasini va quvurning qarshiligi ikki marta oshirilgan

3-jadval

Q л/с	2	4	6	8	10	12	14
H м	19,8	9,2	18,2	16,8	15,10	12,8	10,2

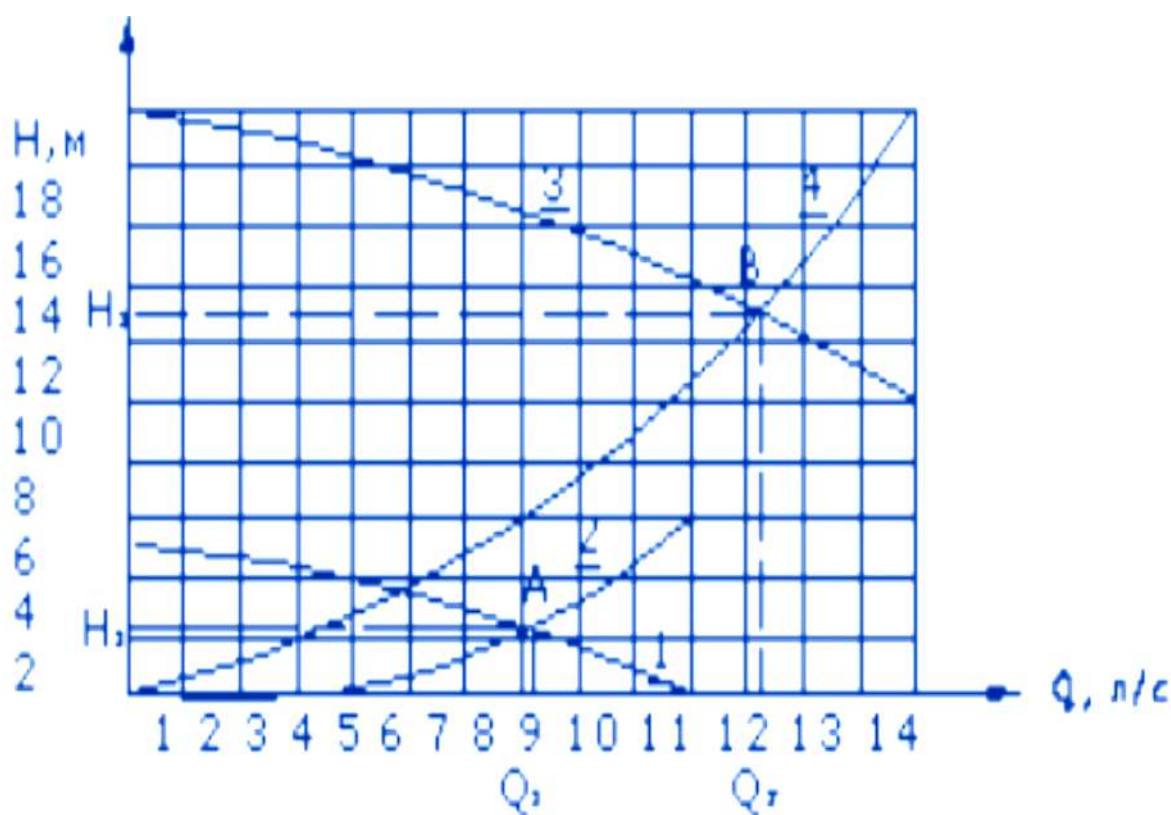
4-jadval

Q л/с	2	4	6	8	10	12	14
H м	0,4	1,6	3,6	6,4	10,0	14,4	19,6

3 va 4 jadval asosida nasosning dam (3) va nasos qurilmasining xarakteristikalari 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 $Q_A=7,11 \text{ l/c}$, $H_A=2,5\text{m}$;

$Q_B=11,5 \text{ l/c}$, $H_B=13,3\text{m}$

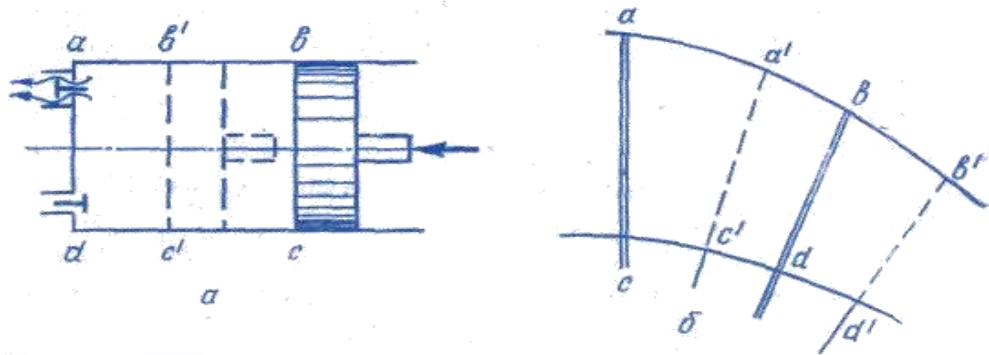


14-bo'lim. Hajmiy nasoslar

14.1 Hajmiy nasoslar va ularning ishlash prinsipi

Hajmiy nasoslar suyuqlikning ma'lum bir hajmini ajratib olib, unga kuch ta'sir qilish yo'li bilan harakatga keltiradi. Ajratib olingan hajm u juda kichik bo'lishiga qaramay, bu jarayon vaqt birligida juda ko'p marta takrorlagani uchun, bunday nasoslar bizni kerakli miqdordagi suyuqlik bilan ta'minlay oladi.

Energiya nuqtai nazaridan qaraganda, hajmiy nasoslar ajratib olingan hajmdagi suyuqlikning potensial energiyasini oshirib beradi. Bu potensial energiyadan ikki xil usulda foydalanish mumkin: suyuqlikni yuqorida ko'tarish yoki trubada oqizish; foydali ish bajarish yoki ikkinchi bir mexanizmni harakatga keltirish. Birinchi holda suyuqlikka energiya berayotgan mexanizm nasos sifatida ishlaydi, ikkinchi holda gidrouzatma sifatida ishlaydi. Suyuqlikka potensial energiya berish uni nasosning harakatlanuvchi qismlarining ta'sirida siqish yo'li bilan amalga oshiriladi. 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 qismdan kichikroq hajmli qismiga siljitish yo'li bilan amalga oshiriladi.



14.1-rasm. Hajmiy nasoslarning ishlash prinsipi

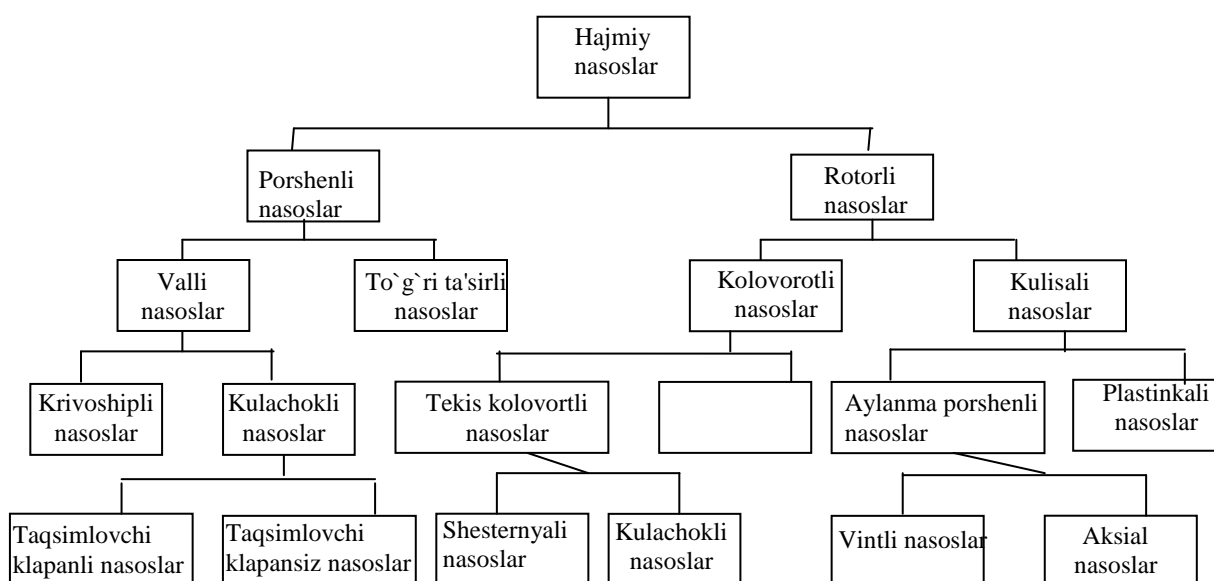
Birinchi usulga suyuqlikni porshenli va plunjerli nasoslarda siqish misol bo'ladi. Bunda ish bo'lmasiga so'rish klapani yordamida so'rib olingan suyuqlik hajmiga siqish vaqtida plunjer yoki porshenning bosimi natijasida potensial energiyasi oshib borib, bosim ma'lum chegaraga yetgandan keyin haydash klapani ochiladi va undan suyuqlik katta tezlik bilan otilib chiqadi. Bu jarayondagi suyuqlik hajmining kamayishi 14.1-rasmda $abcd$ vaziyatdan $a'b'c'd'$ 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 turdagi ikki to'siq (shesternyali, vintli, nasoslar) orasida harakat qiladi. Bunda hajmning kamayishi 14.1-rasm, b da vaziyatdan $abcd$ vaziyatga o'tishi bilan tasvirlangan. Ko'rilayotgan usulda suyuqlik energiyasining ortishi hajm o'zgarimasdan, suyuqlikni chegaralovchi to'siqlarning juda katta tezlik bilan harakatlanishi bilan ham amalga oshirilishi mumkin (shesternyali, vintli nasoslar).

14.2 Hajmiy nasoslarning umumiy xossalari va ularning klassifikatsiyasi

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 siquvchi kuchning qaysi usulda berilishiga qarab ikki katta turga bo'linadi. Birinchisi ish bo'lmasi harakatlanmaydigan va boshqaruvchi zvenosining harakati ilgari lama-qaytma harakatga aylantiriladigan mashinalardir. Bularga porshenli va plunjerli nasoslar kiradi va suyuqlikka kuch porshen yoki plunjerning harakat yo'nalishida beriladi. Ikkinchi tur nasoslarda siquvchi bo'lma rotor bilan birga aylanadi va kuch suyuqlikni chegaralovchi to'siqlar harakati yo'nalishida beriladi. Bunday nasoslar rotorli nasoslar deb ataladi. Hajmiy nasoslar 14.3 - rasmda keltirilgan sxema bo'yicha guruhlanishi mumkin. Porshenli nasoslar siquvchi organining va ish bo'lmasining tuzilishiga qarab porshenli hamda plunjerli nasoslarga bo'linadi. Bu nasoslar bir vaqtda ishlaydigan ish bo'lmalari bitta yoki ko'p harakatli nasoslarga bo'linadi. Ko'p harakatli nasoslarga ikki, uch, to'rt, besh va olti harakatli nasoslar kiradi.



14.2-rasm. Hajmiy nasoslarning guruhlanishiga doir sxema



14.3-rasm. Hajmiy nasoslarni guruhlash sxemasi

14.3 Hajmiy nasoslar va ularning xarakteristikalari

Hajmiy nasoslarda esa nasosdan o'tayotgan suyuqlikka potensial energiya ish bo'lmasining 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'lmasining hajmini oshirib, suyuqlikni so'rilish teshigi va so'rilish klapani orqali bo'lмага 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 vaqtda 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 nasoslar.) 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'lmasidagi 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 vintdagi chegaralangan hajmga ikkinchi shesternyaning tishi yoki vintdagi bo'rtmasi siqilib kirishi natijasida siqib chiqariladi. Bo'shagan hajm esa so'rish bo'lmachasida yana suyuqlikka to'ldiriladi. Dinamik va hajmiy nasoslarning barcha turlari ustida to'liq to'xtashga imkoniyat bo'lmagani uchun bu yerda ularning eng ko'p tarqalganlarining ishlash prinsiplari haqida ma'lumot berish bilan chegaralanamiz.

Hajmiy nasoslar ikkita katta turlarga bo'linadi:

1. Ish bo'lmasi harakatlanmaydigan, boshqariluvchi qismi ilgarilanma – qaytma harakat qiluvchi nasoslar bularga porshenli, plunjerli va h.k. nasoslar kiradi.



14.4-rasm. Hajmiy nasoslarning turlari

Siyuvchi bo'lma rotor bilan birga aylanadi. Bunday nasoslarga rotorli nasoslar deyiladi. Hajmiy nasoslarda suyuqlik uzatish jarayoni, nasos ishchi kamerasini suyuqlikka to'ldirib, so'ngra ishchi kamerani davriy bo'shatish orqali amalga oshadi.

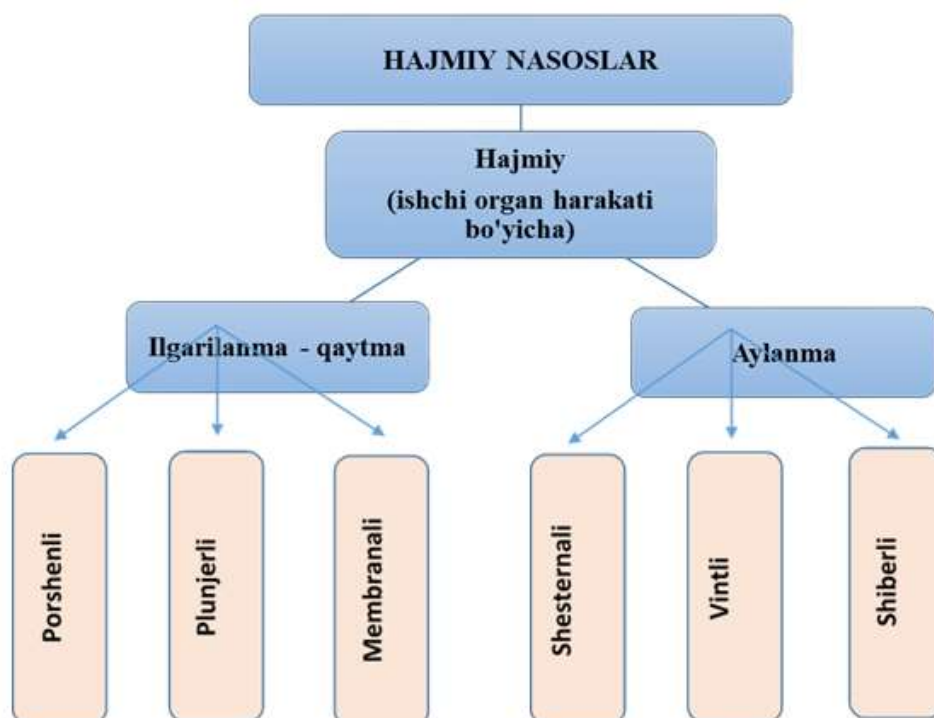


14.5-rasm. Rotorli nasoslarning turlari

Hajmiy nasoslar suyuqlikning ma'lum hajmiga, kuch bilan ta'sir qilib harakatga keltiradi.

Energetik nuqtai nazaridan qaraganda, hajmiy nasoslar suyuqlikning potensial energiyasini o'zgartirib suyuqlik uzatadi.

Hajmiy nasoslarning odatda sarfi katta bo'lmaydi, lekin ular yordamida yuqori bosim olish mumkin.



14.6-rasm. Hajmiy nasoslar klassifikatsiyasi

14.4 Hajmiy nasoslarning dinamik nasoslardan farqli tomonlari

Hajmiy nasoslarning dinamik nasoslardan farqli tomonlari:

- Suyuqlik uzatish jarayoni davriyligi, ya'ni suyuqlik notekis uzatilishi;
- Germetikligi, ya'ni so'ruvchi va haydovchi quvurlarda o'zaro bog'liqligi yo'qligi;
- So'rish qobiliyatiga egaligi;
- Sarf va napor orasidagi bog'liqlikni deyarli sezilmasligi;
- Hosil qilinadigan napor (bosim) ning ishchi organi harakatiga bog'liq emasligi;

14.5 Hajmiy nasoslarning asosiy xarakteristikalari

1. Sarf: $Q = \eta_Q \frac{V \cdot n}{60}, \frac{m^3}{soat}$;

V -ishchi kamerasing hajmi, n -aylanishlar soni, η_Q –Hajmiy nasosning F.I.K.

2. Nasosning napori: $H = \frac{P_H}{\gamma}; \quad P_H = P_2 + P_1$;

P_2 ; P_1 –nasosning so'rish va chiqarish quviridagi bosimlar.

3. Nasosning quvvati:

Foydali quvvat: $N_\phi = Q \cdot P_H$;

Umumiy quvvat: $N = M_H \cdot \omega_H$;

bu erda: M_H -nasos valining momenti, ω_H –valning burchak tezligi.

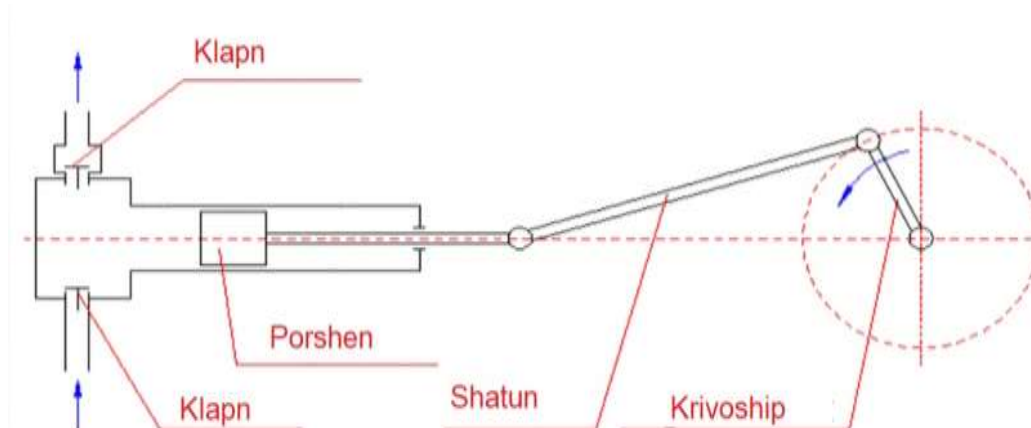
4. Nasosning F.I.K. $\eta = \eta_2 \cdot \eta_Q \cdot \eta_M$;

η_2 – gidravlik F.I.K; η_Q – hajmiy F.I.K; η_M – mexanik F.I.K.

Sodda amaliy porshenli nasosning sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$Q = \eta_Q \frac{V \cdot n}{60}; \quad V = FL; \quad Q = FL \frac{n}{60};$$

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 mexanizmning aylanish soni).



14.6-rasm. Hajmiy nasos sxemasi

Ikki amaliy bir porshenli nasosning sarfi

$$Q = (2F - f)L \frac{n}{60};$$

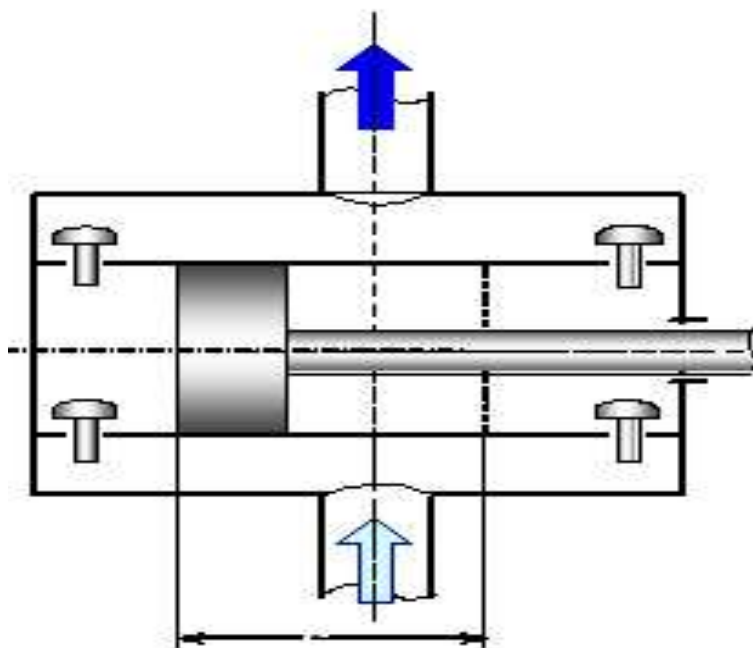
bu erda: f – shtok kondalangkesimining yuzi.

Ko‘p amaliy porshenli nasosiing sarfi

$$Q = FL \frac{n}{60} i;$$

bu erda: i – nasos silindrlarining soni.

Porshenli va plunjerli nasoslar (nasos qurilmasi) asosiy elementlari



14.7-rasm. Hajmiy nasos 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 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 uch 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 sharoitiga qarab krivoship-shatunli yoki mushtumchali mexanizmdan harakatga keltirilishi mumkin. Rotorli nasoslar ham 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 nasoslar esa aylanma korpusda ekstsentrik joylashgan valga o'rnatilgan va qiya sirtga tiralgan aylanuvchi silindrlarda harakatlanuvshi porshenlar ishiga asoslangan. Rotorli nasoslarning tuzilishi xilma-xil bo'lib, ularning barchasini 14.3-rasmda keltirilgan guruhlash sxemasiga joylashtirish mumkin emas. Shuning uchun quyida faqat eng ko'p tarqalgan nasoslar ustida to'xtalib o'tamiz.

14.6 Porshenli va plunjerli nasoslarning tuzilishi hamda ishlatilish sohalari

Porshenli nasos qurilmasining eng sodda sxemasi 14.8-rasmda keltirilgan.

Bu nasoslarda suyuqlikning so'rilishi va haydalishi porshen yoki plunjerning (14.8 - rasm) silindrda ilgari qaytma harakatiga asoslangan. Bunda porshen 3 (14.8 - rasm) yoki plunjer 3 (14.8 - rasm, a) tarkibida shtok 2 bo'lgan krivoship-shatunli mexanizm 1 yordamida harakat qiladi. Porshen (plunjer) 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 (plunjer) o'zining eng chekka so'rish chegarasiga yetguncha davom etadi. Bunda so'rish trubasidagi siyraklanish so'rish klapani oldiga joylashtirilgan vakuummetr yordamida o'lchanadi. Ta'minlovchi idishdagi suyuqlik sathidan nasos silindrining eng yuqori sathigacha bo'lgan balandlik so'rish balandligi (H_c) deyiladi. So'rish balandligi chegaraviy so'rish balandligi H_c^{kr} dan katta bo'lmasligi kerak.

14.7 Hajmiy (porshenli) nasoslar

➤ Porshenli nasoslar konstruksiyasi jihatdan xilma-xildir. Bu esa sanoat korxonalarining turli sohalarida qo'llanishiga imkon beradi.

➤ Porshenli nasoslar yuritma usuliga ko'ra krivoship-shatunli, krivoshipsiz, to'g'ri harakatli yuritma turlarga; porshenning joylanishiga ko'ra vertikal va gorizontal turlarga; aylanishlar soniga ko'ra tez yurar va sekin yurar turlarga; ishlash prinsipiga ko'ra oddiy, ikki bosqichli va ko'p bosqichli turlarga bo'linadi.

14.8 Porshenli nasoslarning tuzilishi va ishlashi

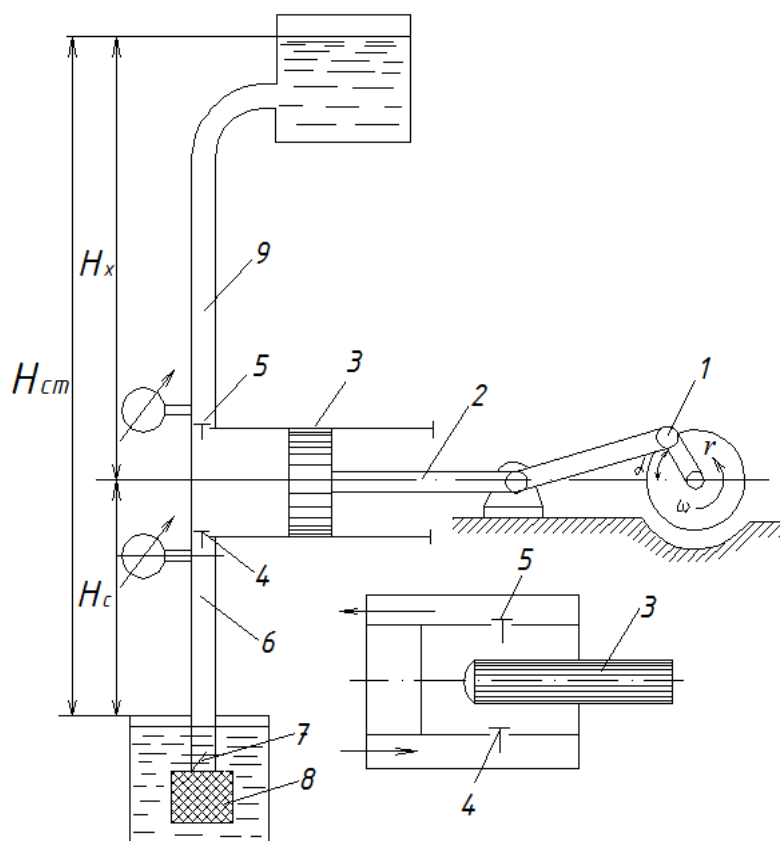
- Bu nasoslarda to'liq statik bosim $N_{st} = N_s + N_x$, bu yerda N_{st} - to'liq statik, N_s - surish, N_x - xaydashdagi bosimlardir. Porshenli nasoslar yuqori bosim kerak bo'lganda ishlatiladi.

- Bunday nasoslarning F.I.K. katta bo'ladi.

- Porshenli nasoslarning markazdan qochma nasoslarga nisbatan qo'polligi, qimmat turishi, ishlashini murakkabligi kabi kamchiliklari mavjud.

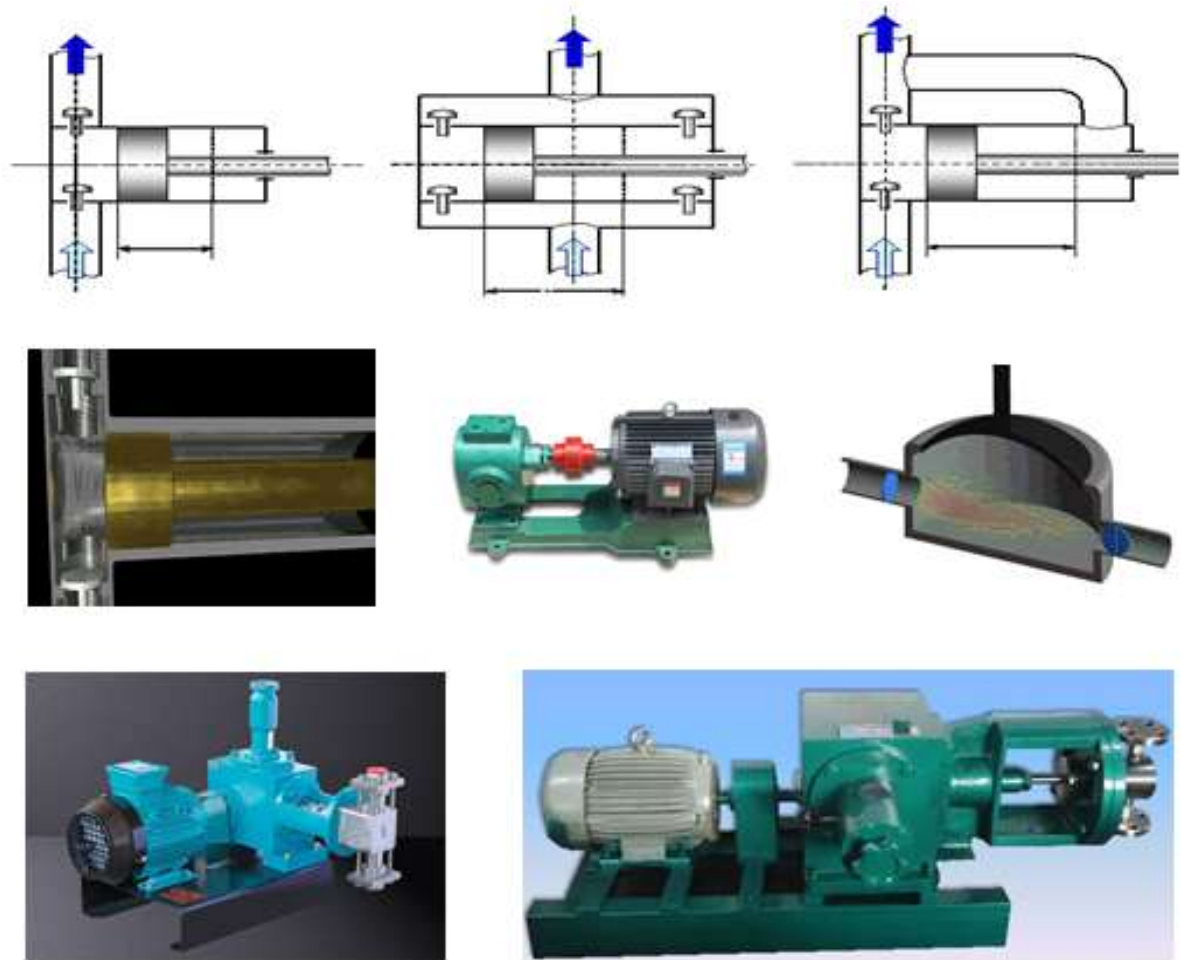
Porshenli nasos qurilmasining eng sodda sxemasi 14.8-rasmda keltirilgan.

Bu nasoslarda suyuqlikning so'rilishi va haydalishi porshen yoki plunjerning (14.8-rasm) silindrda ilgari qaytma harakatiga asoslangan. Bunda porshen 3 (14.8-rasm) yoki plunjer 3 (14.8-rasm) tarkibida shtok 2 bo'lgan krivoship-shatunli mexanizm 1 yordamida harakat qiladi. Porshen (plunjer) 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 (plunjer) o'zining eng chekka so'rish chegarasiga yetguncha davom etadi. Bunda so'rish trubasidagi siyraklanish so'rish klapani oldiga joylashtirilgan vakuummetr yordamida o'lchanadi. Ta'minlovchi idishdagi suyuqlik sathidan nasos silindrining eng yuqori sathigacha bo'lgan balandlik so'rish balandligi (H_c) deyiladi. So'rish balandligi chegaraviy so'rish balandligi H_c^{kr} dan katta bo'lmasligi kerak.



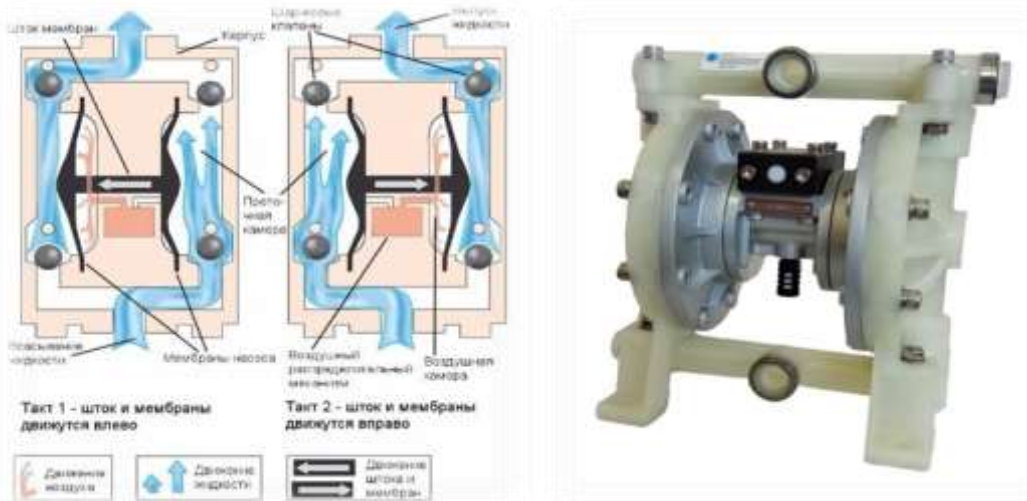
- 1 – krivoship shatunli mexanizm;
- 2 – shtok;
- 3 – porshen;
- 4 – so'rish klapani;
- 5 – haydash klapani;
- 6 – so'rish quviri;
- 7 – tirkak klapan;
- 8 – setka;
- 9 – haydash quviri;
- H_c – so'rish balandligi;
- H_x – haydash balandligi;
- H_{ct} – statik balandlik.

14.8-rasm. Porshenli nasos sxemasi



14.9-rasm. Porshenli nasoslar

Membranali nasos, diafragmalı nasos — porshen vazifasini egiluvchan plastina — membrana bajaradigan nasos; membrananing chetlari mahkamlanib, richagli mexanizm yoki muhitning o‘zgaruvchan bosimi ta’sirida egiladi. Diafragma bir tomonga egilganda suyuqlik so‘riladi, ikkinchi tomonga egilganda esa suyuqlik haydaladi. Membranali nasos suv, kimyoviy jihatdan faol moddalarni va yengil alanganadigan suyuqliklarni uzatishda qo‘llaniladi.



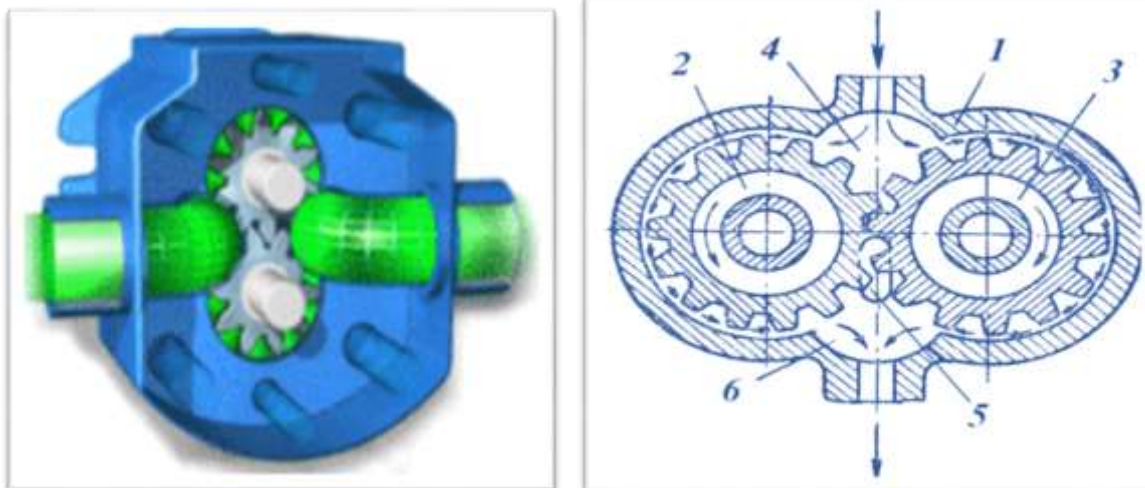
14.10-rasm. Membranali nasos sxemasi

Shesternyali nasoslar

► Shesternyali nasoslar asosan, qovushqoqligi yuqori bo‘lgan suyuqliklarni uzatish uchun qo‘llaniladi.

► **Afzalligi:** ishonchli ishlashi, geometrik o‘lchamlari kichikligi, arzonligi, yuqori bosim hosil qilishi, bir tekisda uzatishi.

► **Kamchiligi:** unumdorligining pastligi, tuzilishining murakkabligi.



14.11-rasm. Plastinali-shiberli nasoslar

➤ Bunday nasoslarning ishlashi porshenli nasoslar kabi, ishchi bo‘shlig‘i hajmining kengayishiga asoslangan.

➤ Bunday nasoslar yonilg‘i va moylarni haydash uchun benzonasos sifatida ishlatilishi mumkin. Metall kesish dastgohlarida va shunga o‘xshash mashinalarda ham ishlatiladi.



14.12-rasm. Impellerli nasos

Impellerli nasos rotorli nasosning bir turi bo‘lib, yumshoq rotorli nasos. Yumshoq impeller nasosning ishchi organi xisoblanadi (so‘rish balantligi 5 metr).



14.13-rasm. Impellerli nasos

➤ **Afzalligi:** shovqinsiz ishlashi, F.I.K. ning nisbatan kattaligi ($\eta = 0,8 \div 0,85$), bir tekisda suyuqlikni uzatishi.

➤ **Kamchiligi:** past bosimligi, faqat toza holdagi suyuqliklar uchun ishlatilishi, tuzilishining murakkabligi, metallga yuqori sifatli ishlovning talab qilinishi.

Porshen (plunjer) ilgarilama (oldinga) harakat qilganda esa ish bo‘lmasidagi bosim ortib, so‘rish klapani yopiladi. Bo‘lmadagi bosim ortishida davom etib haydashga yetarli bosim p_x ga etganida haydash klapani ochilib, suyuqlik haydash trubasi 9 ga o‘ta boshlaydi. Suyuqlikni haydash porshen eng chekka haydash chegarasiga yetguncha davom etadi.

Sodda amaliy porshenli nasosning sarfi ushbuga teng:

$$Q = FL \frac{n}{60} \quad (14.1)$$

bu yerda: 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 mexanizmning aylanish soni).

Ko‘p amaliy porshenli nasosning sarfi

$$Q = FL \frac{n}{60} i \quad (14.2)$$

bu yerda: i – nasos silindrlarining soni.

Ikki amaliy bir porshenli nasosning sarfi

$$Q = (2F - f)L \frac{n}{60} \quad (14.3)$$

bu yerda: f – shtok ko‘ndalang kesimining yuzi.

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 silindrdagi 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.

Silindrdagi yuqori sath bilan suyuqlik ko'tarilgan eng yuqori sathlarning farqi haydash balandligi (H_x) deyiladi.

So'rish balandligi bilan haydash balandligining yig'indisi $H_{st} = H_c + H_x$ nasosning tortish balandligi yoki to'liq statik bosimdan iboratdir.

Yuqorida aytganimizdek porshenli nasoslar yuqori bosim kerak bo'lgandagina ishlatiladi. Amalda, ko'p hollarda, porshenli nasoslar markazdan qochma nasoslarni siqib chiqaradi. Hajmiy gidrouzatmalar tarkibida ishlayotgan nasoslar asosan porshenli nasoslar turiga kiradi. Bu aytilganlardan tashqari porshenli nasoslarning yana bir ustunligi foydali ish koeffitsiyentining yuqoriligidir.

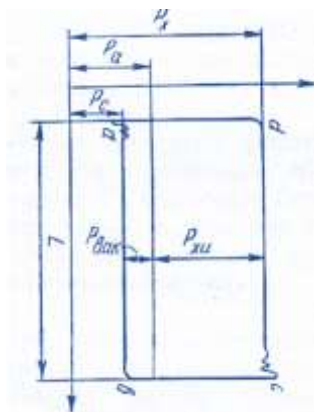
Porshenli nasoslarning markazdan qochma nasoslardan yana bir farqi shundaki, uning so'rishini haydash trubasiga o'rnatilgan berkitkich yordamida o'zgartirib bo'lmaydi. Lekin haydash trubasining kesimi kichrayib borishi bilan tezlik ortib boradi va berkitkich oldida bosim ortib boradi. Agar berkitkich butunlay bekitib 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 foydalaniladi.

Porshenli nasoslarning markazdan qochma nasoslarga taqqoslangandagi asosiy kamshiligi ularning kattaligi, qimmatga tushishi, ishlatishning murakkabligidir. Bu nasoslarga markazdan qochma 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.

14.9 Indikator diagramma

Porshenli nasosning silindridagi absolyut bosimning porshenning yurishiga yoki ish bo'lmasi hajmining o'zgarishiga bog'liqligini ko'rsatuvchi yopiq chiziqdan iborat grafik indikator diagramma deyiladi. U ishlab turgan nasos silindriga o'rnatilgan va indikator deb ataluvchi maxsus asbob yordamida chizib olinadi. 14.14-rasmda oddiy bir harakatli porshenning taxminiy indikator diagrammasi keltirilgan. Diagrammada ab chizig'i so'rish holatiga mos keladi. Bu holatda silindrdagi bosim so'rish bosimi p_c ga teng va atmosfera bosimidan kichik bo'ladi. So'rish va atmosfera bosimlarining farqi $p_a - p_c$ 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. Bunda bosim ortaboshlaydi, so'rish klapani yopiladi. Porshenning oldinga yurishi davomida (bc chiziq) bosim ortib borib, haydash bosimi p_x ga tenglashadi. Shu vaqtdan boshlab haydash klapani ochiladi va u butun haydash jarayoni davomida (cd chizig'i) ochiq turadi.

Bu vaqtda suyuqlik p_x bosim ostida haydash trubasiga kiradi. Porshenning eng chekka haydash holati d nuqtaga to'g'ri kelib, bunda haydash jarayoni tugaydi.



14.14 - rasm. Porshenli nasos indikator diagrammasining taxminiy sxemasi

Porshen orqaga harakat qilaboshlashi bilan silindrdagi bosim kamayib, haydash klapani yopiladi. Bosim pasayib borib (*dc* chizig'i) p_c ga yetganidan so'ng yana so'rish klapani ochilib, surish jarayoni boshlanadi. Klapanlar ochilishining boshida (*a* va *c* nuqtalar) so'rish inersiya kuchi ta'sirida o'zgarib turadi.

Indikator diagrammasidagi yopiq *abcd* 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 bergan quvvati indikator quvvat deyiladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$N_u = \frac{p_{xi}SLn}{60}, kGm/s \quad (14.4)$$

bu yerda: S – porshenning yuzi; L – porshenning yo'li; p_{xi} – indikator bosimi; n – aylanishlar soni.

Indikator quvvat foydali quvvat bilan quyidagicha bog'langan:

$$N_u = \frac{N_f}{\eta_u} \quad (14.5)$$

bu yerda: η_u – indikator FIK.

Shunday qilib, indikator diagramma nasosning quvvatini aniqlashga yordam beradi.

14.10 Porshenli nasoslarning foydali ish koeffitsiyenti

Porshenli nasoslarda ham markazdan qochma nasoslardagi kabi, energiyaning yo'qotilishi mavjud bo'lib, u mexanik va gidrodinamik qarshiliklarni yengishga sarf bo'ladi. Bulardan biri hajmiy yo'qotish bo'lib, unga nazariy sarf bilan haqiqiy sarfning teng emasligi sababdir. Oddiy bir harakatli porshenning nazariy sarfi

$$Q_n = SL \frac{n}{60}$$

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 salnikdagi 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 sarfning nazariy sarfga nisbati hajmiy foydali ish koeffitsiyenti deyiladi va haqiqiy sarf Q_x ning nazariy sarf Q_n ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\eta_Q = \frac{Q_x}{Q_n} \quad (14.6)$$

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 gidravlik qarshiliklarni yengishga sarf bo'lgan bosimlar yig'indisi $H_n + H_t$ orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$H = \frac{P_x}{\gamma} - \frac{P_c}{\gamma} + H_u + H_t. \quad (14.7)$$

H_n va H_m lar ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni hisoblash formulalari yordamida aniqlanadi.

Nasosning foydali bosimi H ga esa trubalardagi gidravlik qarshilik kirmaydi:

$$H_f = H_x - H_c + H_n. \quad (14.8)$$

Vakuummeter va manometrlar ko'rsatuvidan aniqlangan indikator bosim

$$H_i = \frac{P_x}{\gamma} - \frac{P_c}{\gamma} \quad (14.9)$$

ga teng. Manometrik bosim $H_x = H_m$ degan tushunchani kiritamiz. U holda nasos va nasos qurilmasidagi yo'qotishlarni gidravlik FIK

$$\eta_g = \frac{H_m}{H_i} \quad (14.10)$$

va qurilmaning FIK

$$\eta_q = \frac{H_f}{H}$$

orqali ifodalanadi.

Nasosning suyuqlikni ko'tarish uchun sarflagan foydali quvvatini

$$N_f = \gamma Q_f H_m$$

ni topsak, u holda indikator FIKni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\eta_i = \frac{N_f}{N_i}.$$

Yuqorida keltirilgan (14.6), (14.10) tengliklardan va oxirgi formuladan ushbu munosabat kelib chiqadi:

$$\eta_i = \frac{N_f}{N_i} = \frac{\gamma Q_f H_m}{\gamma Q_H H_u} = \eta_Q \eta_g. \quad (14.11)$$

Indikator quvvatning porshenga berilgan quvvat N_p ga nisbati mexanik FIK dan iborat.

$$\frac{N_n}{N_p} = \eta_m \quad (14.12)$$

Bundan foydalanib nasosning to'liq foydali ish koeffitsiyentini topish mumkin:

$$\eta = \frac{N_f}{N_p} = \frac{N_f}{N_u} \frac{N_H}{N_o} = \eta_u \eta_m.$$

Bundan ko'rinadiki, nasosning to'liq FIK i hajmiy, gidravlik va mexanik FIK larning ko'paytmasiga teng ekan:

$$\eta = \eta_o \eta_g \eta_m. \quad (14.13)$$

Demak, nasos olgan to'liq quvvat quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

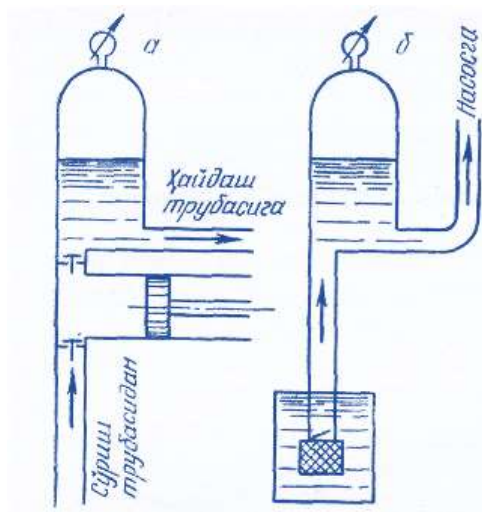
$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{Q_H H_m \gamma}{102 \eta} \text{ kVt} \\ N &= \frac{Q_H H_m}{75 \eta} \text{ o.k} \\ N &= \frac{Q_n H_m \gamma}{1000 \eta} \text{ kVt} \end{aligned} \right\} \quad (14.14)$$

Oxirgi formulada hisob SI sistemasida bajarilishi kerak. Nasos ishlab turganida dvigatelning sarflagan quvvati nasos foydalangan quvvat bilan quyidagicha bog'langan bo'ladi:

$$N_{dv} = a \frac{N}{\eta_{ish}}$$

bu yerda: η_{ish} boshqaruvchi zvenodagi ishqalanish kuchlarini belgilovchi FIK, $a = 1,1 \div 1,2$ – quvvatning zapas koeffitsiyenti; dvigatel ko'proq zo'riqib ishlagan holni hisobga oladi.

Nasosning foydali ish koeffitsiyentlarini: $\eta_g = 0,9 \div 0,98$; $\eta_m = 0,95 \div 0,98$; $\eta = 0,65 \div 0,9$ chegarada olinadi. Bu qiymatlar nasosning turiga va uning eskirganlik darajasiga bog'liq bo'lgani uchun aniq ko'rsatilmaydi.



14.15-rasm. Havo qalpog'ining haydash va so'rish trubasiga o'rnatilish sxemasi

Nasosga kirishdagi suyuqlikning inersiya kuchlarini kamaytirish uchun so'rish trubasiga ham havo qalpog'i o'rnatiladi. 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 2.18 - rasmda 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:

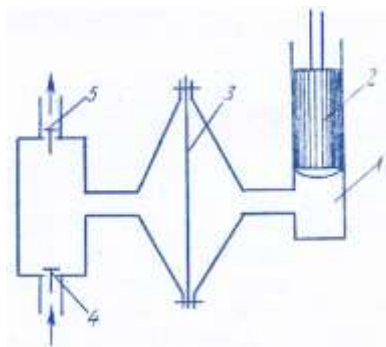
ikki harakatli nasoslar uchun $V_{\max} - V_{\min} = 0,21SL$.

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 silindrlil 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 yetishi mumkin. Shuning uchun ko'p silindrlil nasoslarda ham, ayniqsa haydash yo'liga, havo qalpog'ini o'rnatish maqsadga muvofiqdir.

14.11 Diafragmali nasoslar

Ximiyaviy aktiv suyuqliklarni va qattiq modda zarrachalari aralashgan suyuqliklarni so'rish uchun porshenli nasoslarning maxsus turlari ishlatiladi. Bunday nasoslarning eng tarqalgan turi diafragmali yoki membranali nasosdir (14.26-rasm).



14.16-rasm. Diafragmali nasoslar

Bu nasoslar ishlash prinsipi bo'yicha oddiy bir harakatli plunjerli nasoslarga o'xshaydi va suspenziyalar hamda metall qismlarning yemirilishiga katta ta'sir qiluvchi aktiv suyuqliklarni so'rishda ishlatiladi. Nasosning silindri 1 va plunjeri so'rilayotgan suyuqlikdan elastik to'siq 3 – diafragma (membrana) bilan ajratilgan bo'lib, to'siq yumshoq rezina yoki maxsus po'latdan ishlanadi. Plunjer 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. Plunjer oldinga yurganda esa diafragma bo'lmasining o'ng qismida bosim ortib diafragma

chapga egiladi. Shu yo'l bilan bosimning ortishi ish bo'lmasiga berilib, so'rish klapani 4 yopiladi, so'ngra haydash klapani 5 ochilib, suyuqlikni haydash boshlanadi. Bunda plunjer va silindr so'rilayotgan suyuqlikdan ajratilgani uchun, ximiyaviy aktiv moddalar ta'sirida bo'lmaydi va zanglash, erroziya hodisalaridan holi bo'ladi. Nasosning so'rilayotgan 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 nasoslarnikiga o'xshash bo'ladi. Nasosga berilgan quvvatning bir qismi (yuqorida aytilgan sarflardan tashqari) diafragmaning elastiklik kuchini yengishga sarf bo'ladi. Shuning uchun FIK ham kamroq bo'ladi. Diafragmani elastikligi kichik materialdan tayyorlab bu yo'qotishni kamaytirish mumkin.

Takrorlash uchun savollar:

1. Nasoslarning asosiy parametrlari nimalar?
2. Nasosning quvvati va uning o'lchov birligi.
3. Nasosning foydali ish koeffitsienti deb nimaga aytiladi?
4. Nasosning xarakteristika grafiklari qaysilar va ular laboratoriya sharoitida qanday quriladi.?

15-bo'lim. Rotorli nasoslar

15.1 Rotorli nasoslarning tasnifi, umumiy xossalari va qo'llanilishi

Hajmiy rotorli nasoslar – shesternyali, 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 turdagi nasoslarning sarfi ish bo'shlig'i kattaligiga va rotorning aylanishlar soniga bog'liq; nasos elementlarining puxtaligi (chidamliligi) 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 suyuqlikni harakatlantiruvchi yoki suyuqlikka kerakli energiya bosim beruvchi nasos holida va harakatlanayotgan suyuqlik orqali o'zi harakat olib energiyasini boshqa mashinalarga qurilmalarga uzatuvchi gidrodvigatellar tarzida ishlatilishi mumkin. Rotorli nasoslarning hajmiy FIK i $0,7 \div 0,95$ atrofida bo'lib, nasosning ishqalanuvchi qismlarining yeyilishiga mos ravishda o'zgaradi. Nasos aniq ishlangani uchun mexanik FIK yuqori bo'ladi.

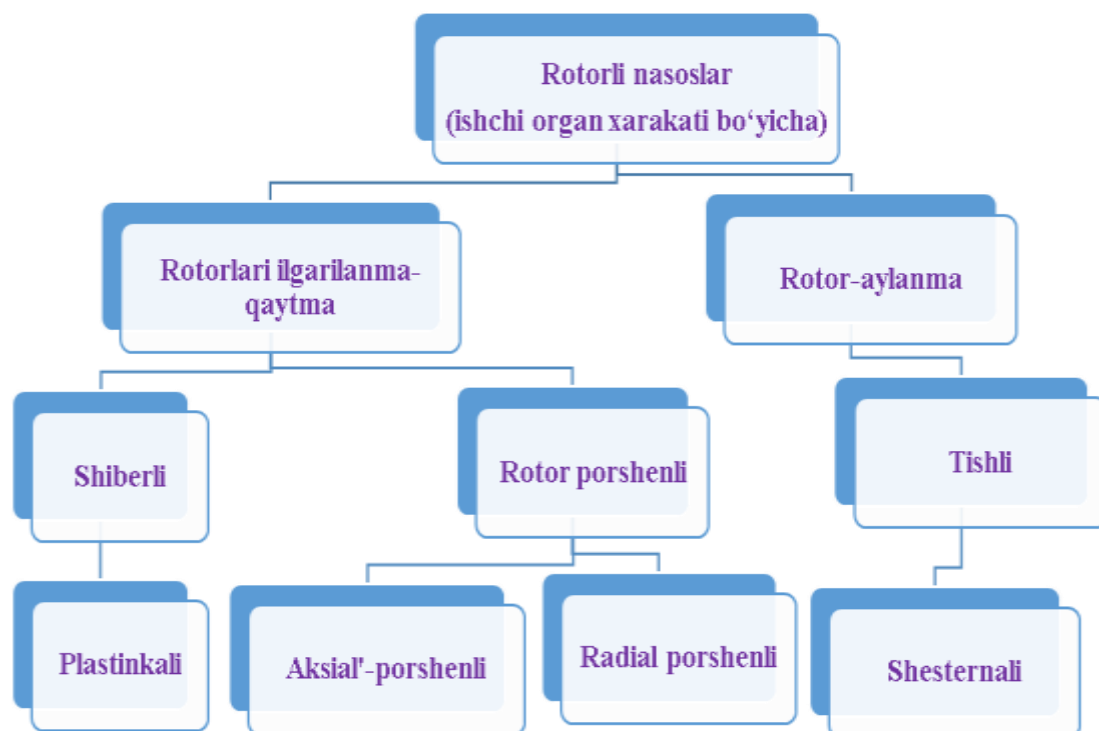
Silindrlari umumiy blokka birlashtirilgan ko'p silindrli nasoslar rotorli-porshenli nasoslar deyiladi. Porshenni harakatga keltirish usuliga qarab aylanuvchi va qo'zg'almas blokli–rotorli–porshenli mashinalar mavjud. Silindrlar blok o'qiga

nisbatan radial yoki aksial joylashishi mumkin. Agar blokda silindrlar radial joylashgan bo'lsa – bu nasoslar radial-porshenli deyiladi. Hidromashina blokiga silindrlar aksial joylashgan bo'lsa – aksial – porshenli nasoslar bo'ladi. Ko'pchilik rotorli – porshenli mashinalarning xarakterli tomoni shundaki, ularda so'ruvchi 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 dvigatellariga 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 ishlatilish joylari to'g'risida keyinroq to'xtab o'tiladi.

15.2 Rotorli nasoslar klassifikatsiyasi

Rotorli nasoslar har xil bir jinsli suyuqliklarni uzatishda avtonom qurilma sifatida, shuningdek, gidroyuritmalar tarkibida suyuqlikni harakatlantiruvchi yoki suyuqlikka kerakli energiya bosim beruvchi nasos holida va harakatlanayotgan suyuqlik orqali o'zi harakat olib energiyasini boshqa mashinalarga, qurilmalarga uzatuvchi gidrodvigatellar tarzida ishlatilishi mumkin. Rotorli nasoslarning hajmiy FIK $\eta_Q = 0,7 \dots 0,95$ atrofida bo'lib, nasosning ishqalanuvchi qismlarining yeyilishiga mos ravishda o'zgaradi. Nasos aniq ishlanganligi uchun mexanik FIK yuqori bo'ladi



15.1-rasm. Rotorli nasoslar klassifikatsiyasi

Rotorli nasoslarning afzalliklari

1. Rotorli nasoslarni gidromat'or sifatida ham foydalanish mumkinligi;
2. Tezyurarligi, aylanishlar soni $n = (2 \dots 5) 10^3 \frac{1}{\text{min}}$; bo'lishi mumkin.

Kamchiligi: Faqat toza suyuqliklarda (moylarda) ishlashi. Suv uchun foydalanmasligi.

Rotorli nasoslar asosiy xarakteristikalari

1. Ideal sarf: $Q = V \cdot n$;

2. Hajmiy sarf: $Q_x = \eta_Q V \cdot n$;

bu erda: V —nasosning ishchi kamerasing hajmi, n —aylanishlar soni, η_Q — hajmiy F.I.K.

3. Nasos valining aylantiruvchi moment:

$$M = \frac{V \cdot P}{2\pi};$$

bu erda: P —nasos bosimi.

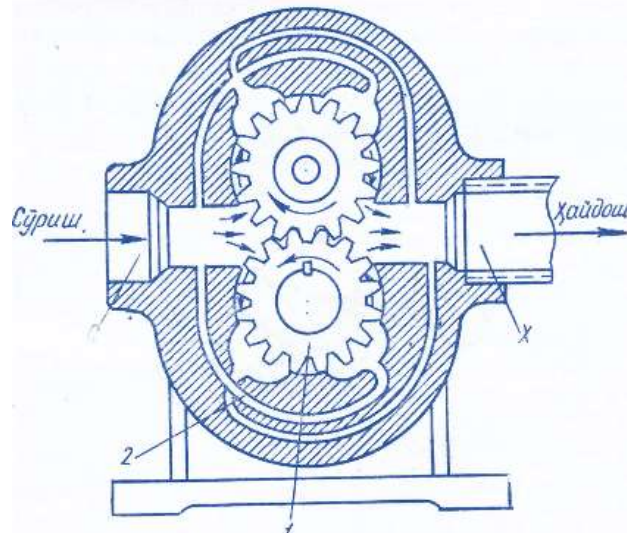
4. Nasos valining haqiqiy momenti:

$$M_x = \frac{M}{\eta_M} = \frac{V \cdot P}{2\pi \cdot \eta_M};$$

η_M — mexanik F.I.K.

15.3 Shesternyali nasoslar

Shesternyali nasoslarning tuzilishi juda sodda. Oddiy shesternyali nasoslarning asosiy ish detallari ikkita bir xil shesternyadan iborat bo'lib (15.2-rasm), ular o'zaro ilashgan va korpus 2 ishiga joylashtirilgandir. Yetaklovchi shesternya harakatni dvigateldan oladi. Nasosda ikkita qopqoq bo'lib, ularda yetaklovchi va yetaklanuvchi valiklar podshipnik va salniklar bilan ta'minlangan. Nasos korpusida ikkita teshik bo'lib, bittasi (S) so'rish teshigi shesternya tishchalari o'zaro ajralayotgan tomonda, ikkinchisi (H) - haydash teshigi teskari tomonda (tishchalar birikayotgan tomonda) bo'ladi. Nasosning ishlash prinsipi quyidagicha. Yetaklovchi val o'zida o'rnatilgan shesternyasi 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.



15.2 - rasm. Shesternyali nasoslar

Bu kuchlarni kamaytirish uchun tishlar orasidagi teshikchalarda suyuqlikning qolib ketishiga yo'l qo'ymaslik kerak. Shu maqsadda yuqori bosimli nasoslardagi chuqurchalarda radial kanallar ariqchalar yasaladi. Bu ariqchalardan qoldiq suyuqlik chiqarib yuboriladi, natijada nasos tayanchi va valiklaridagi yuk kamayadi. Shesternyali nasoslar tashqi va ichki ilashuvchi qilib yasaladi. Tashqi ilashuvchi nasoslar ko'p ishlatiladi. Ichki ilashuvchi kompakt nasoslar kichik qurilmalarda ishlatiladi. Shesternyali nasoslar hosil qilgan bosimiga qarab past (10 kG/sm^2 gacha), o'rtacha (30 kG/sm^2 gacha) va yuqori (100 kG/sm^2) bosimli bo'ladi. Past bosimli nasoslar stanok va mashinalarning moylash-sovitish sistemalarida qo'llaniladi. O'rtacha bosimli nasoslar kuch organlariga harakatni tez uzatish kerak bo'ladigan stanoklarning gidrouzatmalarida (masalan, parmalash va jilvirlash stanoklarida) ishlatiladi. Yuqori bosimli nasoslar stanokning ichki organiga katta kuch uzatish lozim bo'lgan gidrouzatmalarda 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 kichik. Keyingi paytlarda hajmiy FIK ni oshirish maqsadida gidravlik kompensatorli shesternyali nasoslar chiqarila boshladi. Yon shetdagi tirqishlarni gidravlik kompensatsiyalash uchun vtulka kuchli ishqalanish va yedirilish hosil qilmaydigan qilib shesternyaga mahkam siqib qo'yiladi. Bundan tashqari, yon qistirmalardan foydalanib yon chet tirqishlarni kichraytirish usulidan ham foydalaniladi. Bu qistirmalar elastik devorli katakchalarga ega bo'lib, shayba holda shesternya bilan nasos korpusi orasiga qo'yiladi. Nasos ishlayotganda devordagi tirqishlardan qistirma katakchalari moyga to'latiladi. Bosim ostida katakcha to'siqlari deformatsiyalanadi va tirqishlardan moy mos shesternya yonlariga keladi.

15.3.1 Shesternyali nasoslarning asosiy xarakteristikalari

1. Sarfi: $Q = V \cdot n;$

V — ishchi kamera hajmi:

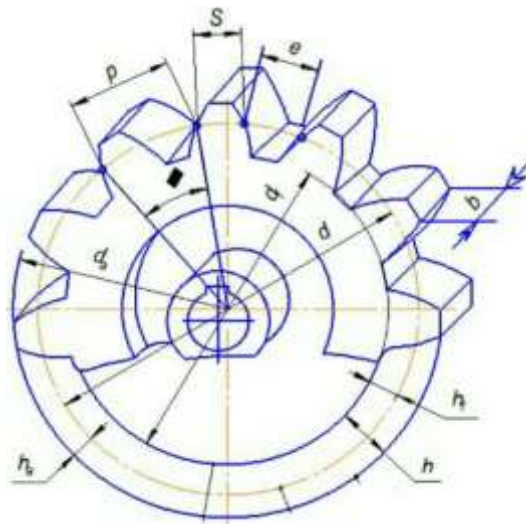
$$V = 2 \cdot z \cdot \Omega \cdot b;$$

z-tishlar soni, Ω – tishlar orasidagi yuza; b-tishlar eni.

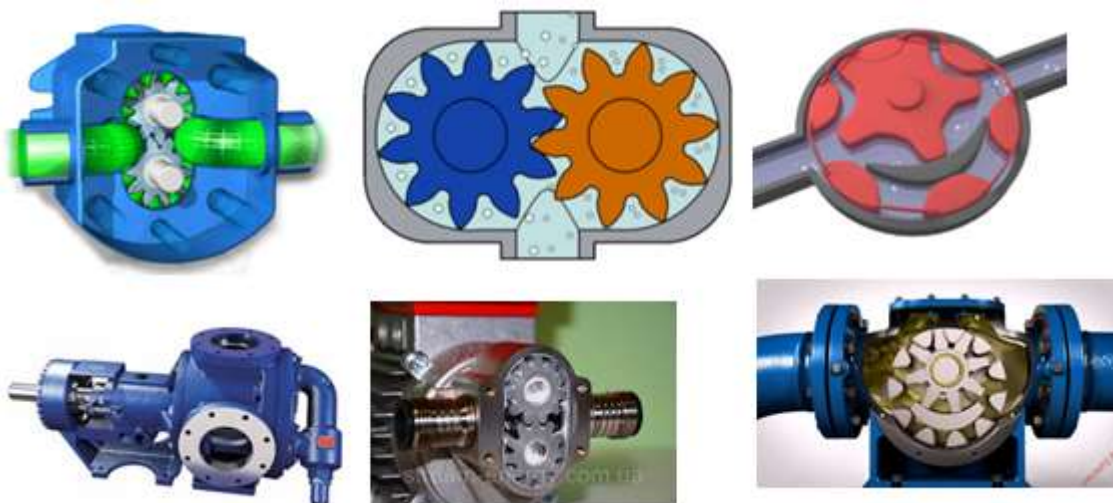
$$\Omega = 1.1 \cdot \Omega_T : z \cdot \Omega_T = \pi \cdot D \cdot m :$$

bu erda: D - shesternya diametri;
m-tishlashish moduli.

$$V = 2.2 \cdot \pi \cdot D \cdot b; \quad \text{yoki} \quad Q = 2.2 \cdot \eta_Q \cdot \pi \cdot D \cdot b \cdot n;$$



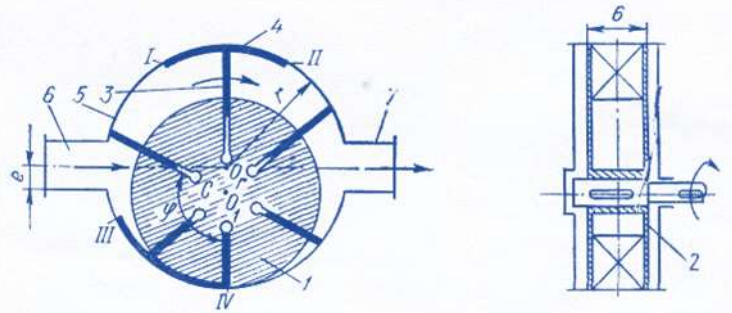
15.3-rasm. Shesternyali nasoslarning asosiy xarakteristikallari



15.4-rasm. Shesternyali nasoslarning tuzilishi

15.4 Plastinkali (shiberli) nasoslar

15.5–rasmda oddiy rotorli–plastinkali nasosning tuzilishi ko’rsatilgan. Rotor 1 nasos korpusida bir-biriga mahkam siqilgan disklar 2 orasiga joylashtirilgan.



15.5-rasm. Plastinkali nasoslar

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'rnatilgan. Statorga taqalgan va rotor bilan birga aylanadigan plastinkalar statorning ichki silindrik yuzasi bo'ylab sirpanadi hamda rotorga nisbatan ilgarilanma qaytma harakatda bo'ladi. Rotor ekstsentrik 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 pulslanuvchi 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 pulslanishni kamaytirish maqsadida 4 dan 12 gacha plastinka qo'yiladi. Haydash va so'rish bo'shliqlari qo'shib 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.

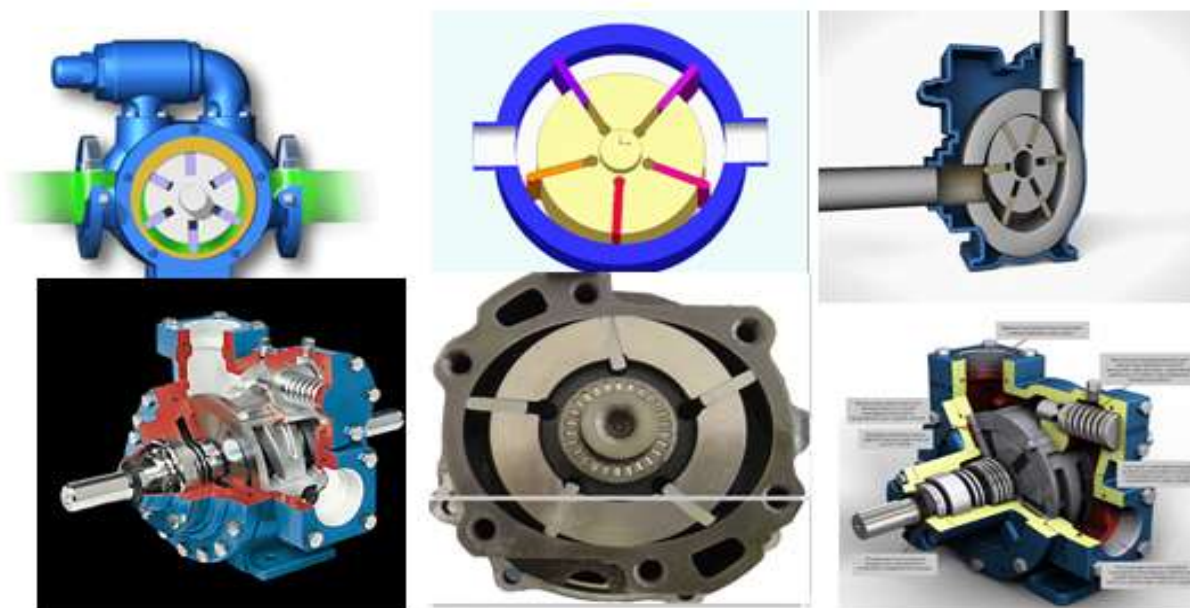
Bir harakatli rotorli-plastinkali nasoslarning kamchiligi podshipniklarga tushadigan bir tomonlama katta zo'riqishning mavjudligidir. Bu kamchilikni yo'qotish uchun ikki xarakatli rotorli-plastinkali nasoslar qo'llaniladi. Ularda rotor va podshipniklar ortiqcha zo'riqishsiz ishlaydi. Ikki harakatli nasoslarda 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'rihi 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 nasoslar nisbatan kichkina sarfda (5 dan 200 l/min gacha) va yuqori bosimda ($70 \text{ at } 7 \cdot 10^6$

H/m² gacha) moy va boshqa suyuqliklarni uzatishda ishlatiladi. 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 foydalaniladi.

Ishchi kamerasing hajmi;

$$V = 2 \cdot e(2 \cdot \pi \cdot R - z_1 \delta)b;$$

bu erda: e –ekssentrisitet, R –stator radiusi, z_1 –plastinkalar soni, δ –plastinkalar qalinligi, b –plastinkalar eni.



15.6-rasm. Plastinkali (shiberli) nasoslar tuzilishi

15.4 Vintli nasoslar

Ishchi kamerasing hajmi:

1. Ikkita bir xil vintli :

$$V = \frac{3}{16} \pi (D^2 - d^2) l_v;$$

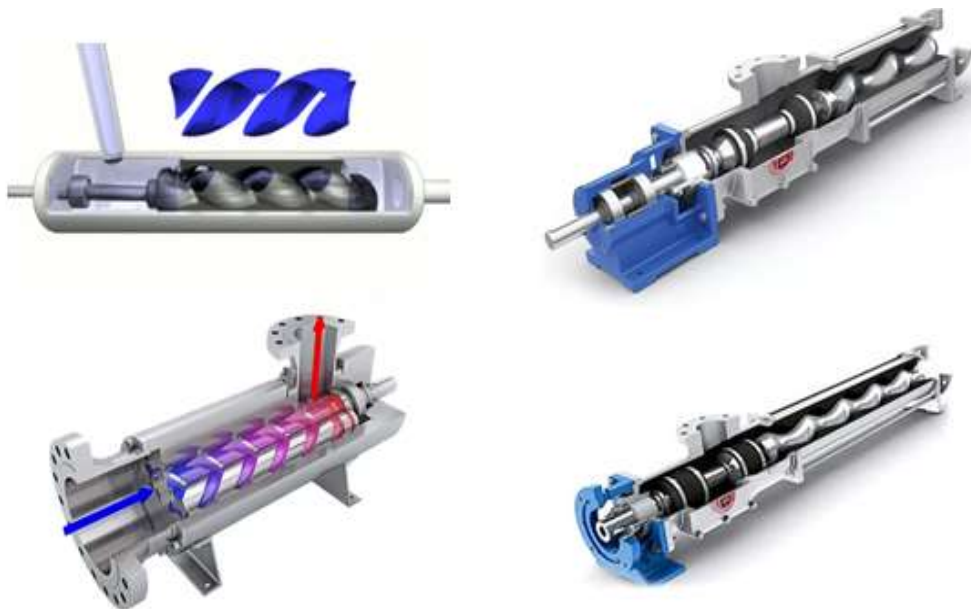
bu erda: D va d – mos ravishda vintning ichki va tashqi diametrlari;
 l_v – vint yo'li(qadami);

1. Uchta bir xil vintli nasoslar:

$$V = 1.24d^3 l_v;$$

bu erda: d – yetaklovchi vintning ichki yoki etaklovchi vintning tashqi diametri;

$$l_v = \frac{10}{3} d;$$



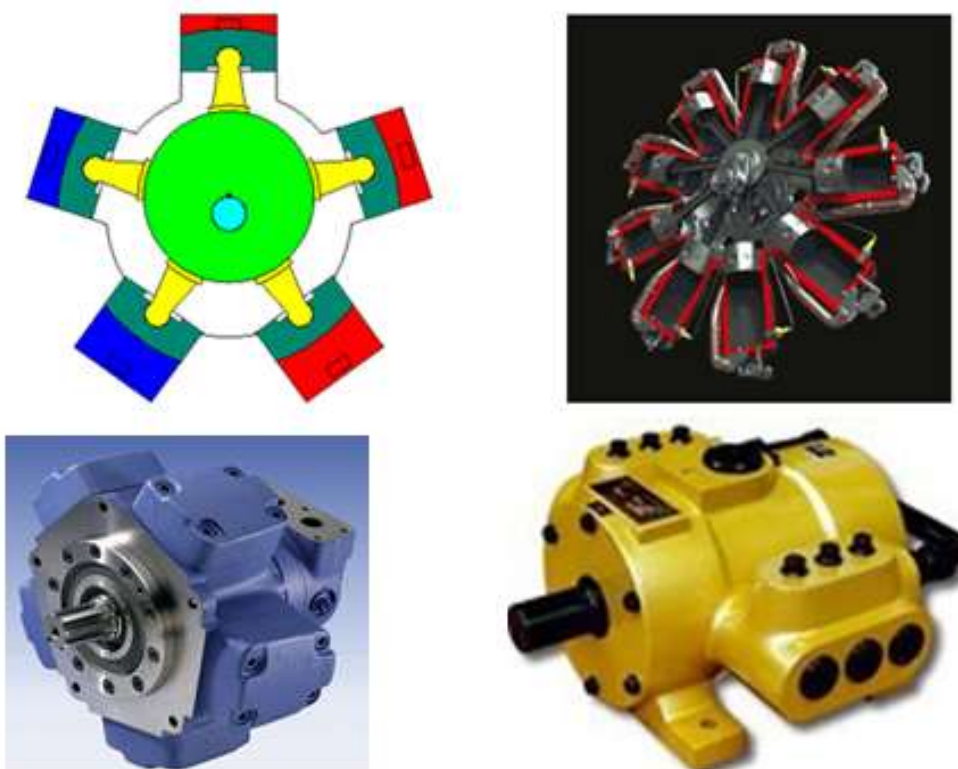
15.7-rasm. Vintli nasoslarning tuzilishi

15.5 Radial-porshenli nasoslar (RPN)

Radial-porshenli nasoslar ishchi kamerasining hajmi:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 2e \cdot z;$$

bu erda: e —ekssentrisitet, z_1 —porshenlar soni, d —silindr diametri.



15.8-rasm. Radial-porshenli nasoslar

15.6 Aksial-porshenli nasoslar (APN)

Aksial-porshenli nasoslar 2 xil bo'ladi:

1. Bloki burchak ostida joylashgan aksial-porshenli nasoslar;
2. Diski burchak ostida joylashgan aksial-porshenli nasoslar.

Bloki burchak ostida joylashgan aksial-porshenli nasoslar ishchi kamerasi hajmi:

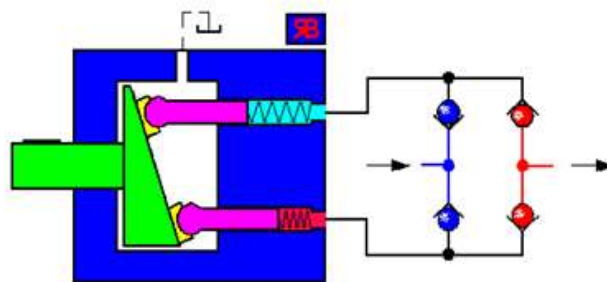
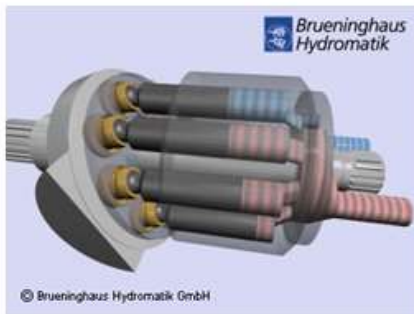
$$V = V_0 \cdot z_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot D_1 \cdot \sin \alpha \cdot z_1;$$

bu erda: D_1 —shantunlarning markazlari joylashgan aylana diametri, α —rotor aylanish o'qiga nisbatan blokning joylanishi burchagi, z_1 —porshenlar soni ($z_1 = 5; 7; 9$), d —silindr diametri.

Diski burchak ostida joylashgan aksial-porshenli nasoslar ishchi kamerasi hajmi:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot D_2 \cdot \tan \beta \cdot z_1;$$

bu erda: D_2 —porshen o'qlari joylashgan aylana diametri, β —disk burchagi.



15.9-rasm. Aksial-porshenli nasoslar

15.7 Rotorli nasoslarni boshqarish

Yuqorida, markazdan qochma 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 , η_{hn} 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 silindrlar blokining og'ish burchagi γ ni (aksial-porshenli nasoslarda), ish silindrlari sonini (ekstsentrik, radial-porshenli va aksial-porshenli nasoslarda), tishlarning ilashish uzunligini (shesterniyali nasoslarda) va hokazolarni o'zgartirish kiradi.

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatma

1-MASALA

Uch vintli nasosning aylanishlar soni $n = 2900 \text{ мин-1}$, $P = 2,2 \text{ МПа}$. Etaklanuvchi vintning tashqi diametri $d_H = 62 \text{ mm}$, hajmiy F.I.K $\eta_0 = 0,8$, nasos F.I.K. $\eta = 0,78$. Nasos quvvatini aniqlang?

Yechim:

1. Uch vintli nasos ishchi kamerasing hajmi:

$$V = 1,24 d^3 l_v$$

bu erda: d – etaklovchi vintning ichki diametric yoki etaklanuvchi vintning nashqi diametri; l_v – vint qadami, $l_v = 10/3 d$.

2. Nasos quvvati:

$$N = Q \cdot P$$

2-MASALA

Plastinkali nasosning o'lchamlari quyidagicha: statorning ichki qismi diametri $d = 100 \text{ mm}$; eksentrisitet $e = 10 \text{ mm}$; plastinkalar qalinligi $l = 3 \text{ mm}$; plastinkalar eni $b = 40 \text{ mm}$; plastinkalar soni $z = 5$. Agar aylanishlar chastotasi $n = 1450 \text{ ayl/min}$ va nasosdan chiqishdagi bosim $P = 5 \text{ МПа}$ bo'lsa. Nasosga sarflangan quvvat aniqlansin. Nasosning mexanik foydali ish koeffitsienti nasos $\eta = 0,9$.

Echimi: 1. Nasosga sarflangan quvvatni aniqlaymiz

$$N_c = M \cdot \omega;$$

Plastinkali (rotorli) nasosning valdagi momenti

$$M = P \cdot V_{\text{ж}}; \quad M = \frac{1}{2\pi} \cdot \rho v \frac{1}{\tau m};$$

Plastinkali nasosning ishchi kamerasing hajmi:

$$V = 2 \cdot e \cdot (2 \cdot \pi \cdot R - z \cdot \delta) \cdot b = 0,00022,$$

bu erda: e - eksentrisitet, R – stator radiusi; z -plastinkalar soni, l – plastinka qalinligi; b – plastinka eni.

$$N_c = M \cdot \omega = \frac{1222}{2 \cdot 3.14} \cdot \frac{3.14}{30} \cdot 1450 = 30 \text{ кВт};$$

Javob: $N_c = 30 \text{ кВт}$

Topshiriq-masala

Hajmiy nasosning quvvati $N=3,3$ kVt, aylanishlar soni $n=1440$ 1/min, ishchi kameraning hajmi $V=12$ sm³, Hajmiy FIK $\eta_0=0,9$, nasosning FIK $\eta=0,8$ bo'lsa, nasosning bosimini aniqlang?

Javob: $p=10,2$ MPa.

Masalalar.

2.1. Plastinkali nasosning o'lchamlari quyidagicha: statorning ichki qismi diametri $d=100$ mm; eksentrisitet $l=10$ mm; plastinkalar qalinligi $=3$ mm; plastinkalar eni $b=40$ mm; plastinkalar soni $z=5$. Agar aylanishlar chastotasi $n=1450$ ayl/min va nasosdan chiqishdagi bosim $P=5$ MPa bo'lsa. Nasosga sarflangan quvvat aniqlansin. Nasosning mexanik foydali ish koeffitsiyentini $\zeta_n=0,9$.

Yechimi: 1. Nasosga sarflangan quvvatni aniqlaymiz

$$N_c = M \cdot \omega$$

Plastinkali (rotorli) nasosning valdagi momenti

$$M = \frac{1}{2\pi} \rho v \frac{1}{\tau_M}$$

Gidromashina ishchi hajmi formuladan aniqlanadi

$$V = 2eb(K2\pi R - \delta z) = 0,00022 \text{ m}^3$$

$$N_c = M \omega = \frac{1222}{2 \cdot 3,14} \cdot \frac{3,14}{30} \cdot 1450 = 30 \text{ k} \omega \text{ m}$$

Javob: $N_c = 30 \text{ k} \omega \text{ m}$

2.2. Radial-porshenli gidromotorga uzatilayotgan suyuqlik sarfi o'zgarmagan holda, rotorning aylanishlar chastotasini o'zgartirish, statorni siljitish, ya'ni eksentrisitet l ni uzgartirib amalga oshiriladi. Gidromotor rotori doimiy momenti $M=300$ nm bilan yuklangan bo'lib, agar gidromotor kirish qismidagi maksimal bosim $P_{max}=20$ MPa, o'zatilayotgan suyuqlik sarfi $Q=15$ l/min, P_{max} da gidromotor hajmi FIK $q=0,90$ va shu bosimda mexanik FIK $m=0,92$ bo'lsa, gidromotor rotorining maksimal aylanish chastotasi qancha bo'ladi.

Yechimi: radial-porshenli gidromotor (umumiy) FIK

$$\zeta = \frac{N\phi}{N} = \zeta q \cdot \zeta m$$

$$P_{2M} = P_1 - P_2;$$

$$P_1 \text{ max}; P_2 = 0$$

$$P_{2M} = P_1 = 20 \text{ MPa}$$

(1,9) formuladan

$$\zeta = \zeta q \cdot \zeta m = 0,9 \cdot 0,92 = 0,828$$

$$\zeta = \frac{N\phi}{N}; 0,828 = \frac{300 \cdot 0,105n}{0,00025 \cdot 20000000} = \frac{31,5n}{5000};$$

$$0,828 = \frac{31,5n}{5000};$$

Rotorning maksimal aylanishlar chastotasi

$$n = 0,828 \cdot \frac{31,5}{5000} = 132 \text{ ayl / min}$$

Javob: $n=132 \text{ ayl/min.}$

2.3. Shesterniyali 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 $P_n = 1,25 \cdot 10^6 \text{ H / m}^2$ bo'lsa, mexanik FIK ζ

$$m=0,85, \text{ hajmiy FIK } \zeta_q = 0,9 \text{ ga teng.}$$

Yechimi: 1. nasosning ishchi hajmi (1.22) formuladan

$$V = \frac{Qn}{n} = \frac{0,4}{25} = 0,016 \text{ l / ayl} = 16 \text{ sm}^3 / \text{ ayl}$$

2. Nasos validagi foydali aylantiruvchi moment

$$Mf = \frac{v \cdot PH}{2\pi} = \frac{16 \cdot 1,25 \cdot 10^6}{2\pi \cdot 10^6} = 32 \text{ Hm}$$

Nasos valiga berilayotgan aylantiruvchi moment

$$M = \frac{Nf}{\zeta_{\max}} = \frac{32,0}{0,85} = 38 \text{ Hm}$$

3. Foydali sarf

$$Qf = Qn \cdot \zeta_q = 0,4 \cdot 0,9 = 0,36 \text{ l / s}$$

Javob: $M=38 \text{ Nm}; Qf=0,36 \text{ l/s.}$

Uchinchi qism

16-bo'lim. Gidrouzatmalar va hajmiy gidroyuritmalar

16.1 Gidrodinamik uzatmalarning vazifasi va ishlatilish sohalari

Suyuqliklar ishtirokida bir mexanizmning ikkinchi mexanizmni harakatga keltirishiga asoslangan mexanizmlar *gidravlik uzatmalar* deyiladi, bunda suyuqlik uzatma mexanizmidagi kuch zanjirining bir halqasi hisoblanadi. Gidravlik uzatma bir agregatda ikki xil parrakli mashinadan, ya'ni markazdan qochma 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'siqlardan 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 kamchiliklardan holidir. Maxovik bilan dvigatel va kuch zanjirining qolgan halqalari orasida biki 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 zaruriyati 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 yetadi.

Teplovozlar, avtomobillar, traktorlarda, kuchli ventilyator va nasos uzatmalarida, kemachilikda va burg'ulash mashinalarida, yer 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 operatsiyalarni tushunish uchun hajmiy gidrouzatmalar haqida tushunchaga ega bo'lish zarur, ular haqida keyinroq to'xtalamiz.

16.2 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, gidrodvigatelni ishga tushiradi.

Hajmiy gidravlik uzatmalarda energiya yetaklovchi valga statik bosim ko'rinishida berilgani sababli uni, ko'pincha, gidrostatik uzatma ham deyilar.

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 qochma nasos va gidravlik turbinalardan birgalikda foydalaniladi.

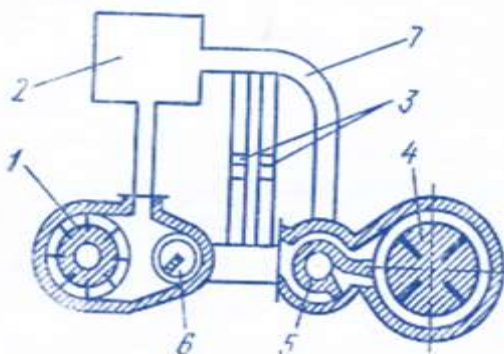
Gidrodinamik uzatmalar bir oqimli va ikki oqimli bo'lishi mumkin. Bir oqimli gidrodinamik hamma quvvat gidravlik g'ildiraklar orqali uzatiladi. Ikki oqimli gidrodinamik uzatmalarda esa dvigatel: bir qismi gidravlik gildiraklar orqali, ikkinchi qismi esa mexanik yo'l bilan uzatiladi.

Aylantirish momentining uzatilish usullariga qarab gidrodinamik uzatmalar ikkiga bo'linadi:

- 1) gidroilashgich yoki gidromuftalar;
- 2) gidrotransformatorlar yoki turbotransformatorlar.

Mashinalarda gidromuftalar va gidrotransformatorlar alohida va turli kombinasiyalarda, ya'ni gidromufta va gidrotransformator; gidromufta va ikkita yoki uchta gidrotransformator va hokazo tarzda ishlatilishi mumkin.

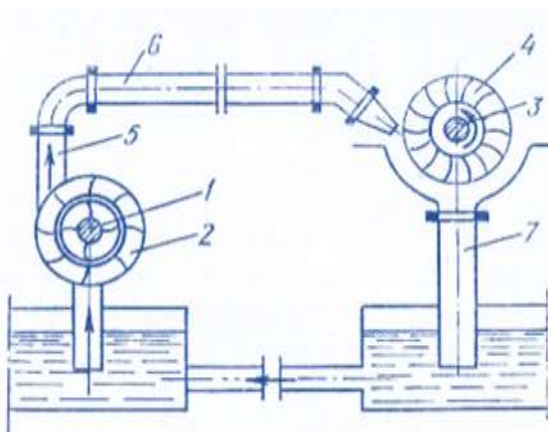
Xajmiy gidrouzatmaning ishlash prinsipini quyidagi oddiy sxemada tushuntiramiz (16.1 - rasm). Uzatma rotasion nasos 1, sovitgich 2, teskari klapan 3, turbinalar 4, reversiv taqsimlagich 5 va taqsimlash klapani 6 dan iborat.



16.1–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 suyuqlikni turbinalarning kuraklariga yuqoridan 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 gidrodvigatelga kirayotgan suyuqlik miqdorini o'zgartirish hisobiga boshqariladi. Sistemada nasosda dvigatelgacha bo'lgan yo'lda (suyuqlikning bir qismini) boshqa yo'nalishga burib yuboruvchi qurilmalar orqali ham gidrodvigatel tezligini o'zgartirish mumkin. Hozirgi ko'pgina zamonaviy gidrouzatmalardagi ish qismlarida suyuqlik sarfi va harakat tezligi avtomatik ravishda boshqariladi.



16.2-rasm. Gidrodinamik uzatmaning ishlash prinsipi.

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. Suyuqlikning bunday berk harakati nasos va turbina g'ildiraklaridagi burovchi momentning uzatilishini ta'minlaydi.

17-bo'lim. Hajmiy gidrouzatmalar

17.1 Hajmiy gidrouzatmalar. Gidrouzatmalarning vazifalari, guruhlanishi, qo'llanish sohasi, afzalligi va kamchiliklari

Hajmiy gidrouzatmalar hajmiy gidromashinalar yordami bilan mexanik energiyani uzatish va o'zgartirish uchun mo'ljallanganidir. Hajmiy nasos va gidrodvigateldan tuzilgan qurilma hajmiy gidrouzatmaning prinsipial asosi hisoblanadi. Agar nasos va gidrodvigatel qurilishi jihatdan bo'linmaydigan birikma tashkil qilsa, unda bunday sodda gidrouzatma hajmiy gidrouzatma deyiladi. Agar kuch gidrosistemi alohida nasoslar, gidrodvigatellardan 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 uzatmalarning 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 gidrouzatmalarni ilgari lab boradigan va aylanma harakat qiladigan gidrouzatmalarga ajratiladi. Shuning uchun gidrouzatmaning nomi gidrodvigatelning turiga qarab aniqlanadi. Gidrodvigatel 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 gidrouzatmalarning quyidagi ustunliklarini ko'rsatish mumkin;

1. Kichik gabaritlarda 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.

Yuqoridagi ustunliklar bilan bir qatorda kamchiliklari ham bor:

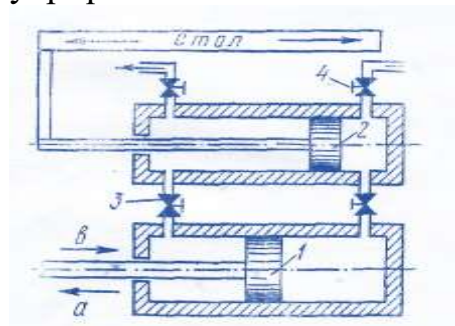
1. Gidravlik sarf yoki tezlik katta bo'lganda FIK past bo'ladi.
2. Havo tiqilib qolganda gidravlik zarbalar natijasida silkinish ro'y beradi.
3. Suyuqlikning ortib ketishi va siqilishi aniq koordinasiyalashni qiyinlashtiradi.

17.2 Hajmiy gidrouzatmaning ishlash prinsipi

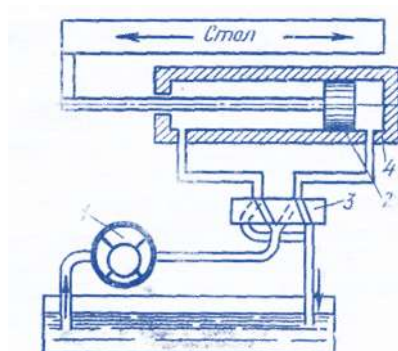
17.1-rasmda nasos porshen 1 ning ilgarilama-qaytma harakatini kuch silindridagi porshen 2 ning ilgarilama-qaytma harakatiga aylantiruvchi qurilmaning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Porshen 1 strelka bilan ko'rsatilgan yo'nalishda harakat qilganda suyuqlik kanal 3 bo'ylab keladi va porshen 2 ni bosib, stolni chapga strelka b bilan ko'rsatilgan yo'nalishga siljitadi. 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.

17.2-rasmda nasos rotor 1 ning aylanma harakati kuch 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.

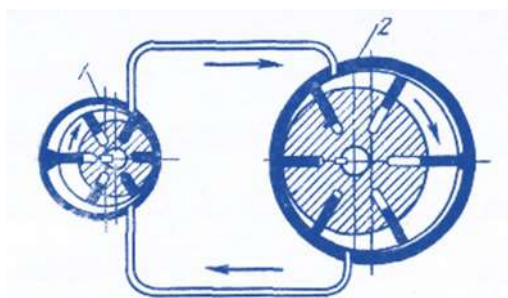
17.3-rasmda esa nasos rotor 1 ning aylana xarakatining gidrodvigatel rotor 2 ning aylanma xarakatiga o'zgartirish sxemasi berilgan. Bu sxemada gidrosistema ochiq bo'ladi: suyuqlik idishdan a truba bo'ylab so'rib olinadi va o'sha rezervuargacha truba b bo'ylab chiqariladi. Shuningdek, hajmiy gidrouzatma sxemasi 17.4-rasmda ko'rsatilgan, unda nasos rotor 1 ning aylanma harakati gidrodvigatel rotor 2 ning aylanma harakatiga o'zgartiriladi. Bunda gidrosistema yopiq bo'ladi.



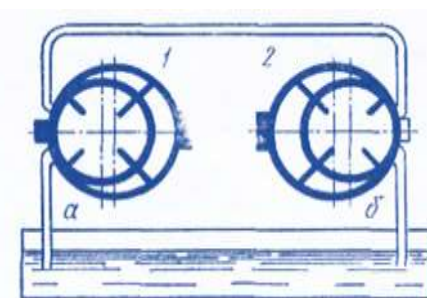
17.1 -rasm. Nasos va gidrodvigateli porshenli hajmiy gidrouzatma



17.2-rasm. Nasosi rotorli va gidrodvigateli porshenli gidrouzatma



17.3-rasm. Rotorli ochiq hajmiy gidrouzatma



17.4-rasm. Rotorli yopiq hajmiy gidrouzatma

Ilgarilama-qaytma harakat qiladigan gidrouzatmalarda suyuqlikning potensial energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda porshenli gidrosilindr sistemaning asosiy elementi hisoblanadi. Bir tomonlama harakat qiladigan kuch silindrlari faqat bir tomondan suyuqlik bosimi ta'sirida bo'ladi, teskari harakat esa, prujina ta'sirida amalga oshadi. Bunday silindrlarni *bir tomonlama harakatlanuvchi* deb atash qabul qilingan. Bular bilan bir qatorda ikki tomonlama va burilma harakatlanuvchi gidrosilindrlar ham qo'llaniladi. Burilma gidrosilindrlar *kvadrantlar* deyiladi. Turli xil gidrosilindrlar va rotorli gidrodvigatellar (gidromotorlar) ning sxemalari, qurilmalari va ishlash prinsiplari „Gidravlik dvigatellar“ bobida ko'riladi.

17.3 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.

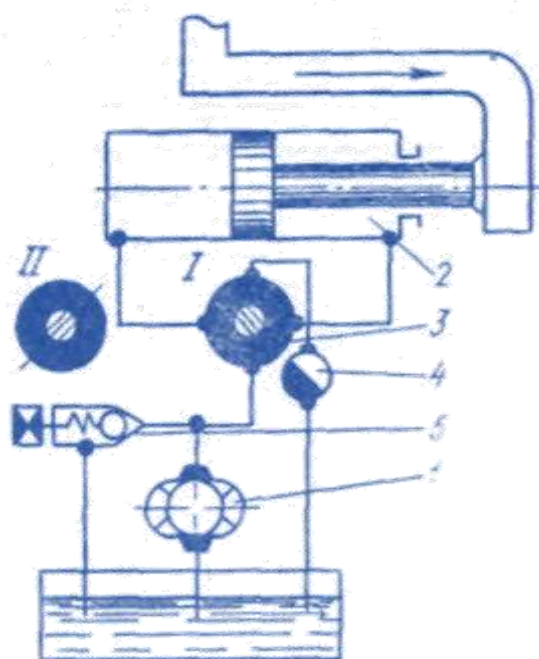
Hajmiy boshqarishli gidrorzatmadan drosselli boshqarishning farqi shuki, nasosda suyuqlik sarfi doimo silindrdagi suyuqlik sarfidan katta bo'ladi. Qoldiq moy gidrosilindrdan maxsus bakka chiqazib yuboriladi.

Silindrga keladigan yoki silindrdan chiqib ketadigan moy miqdori gidrosilindrdan chiqishda, unga kirishda yoki parallel ulangan drossel bilan boshqariladi.

17.5-rasmda chiqishda drosselli boshqariladigan va ilgari lama harakat qiladigan gidrouzatmaning sxemasi keltirilgan.

Drosselning suyuqlik o'tkazuvchi trubasining kesimi qanchalik katta bo'lsa, gidrosilindrga moy shunchalik ko'p oqib o'tadi. Dam beradigan nasosning qoldiq moyi quyish klapani orqali oqib chiqib ketadi.

Gidrouzatma sxemasiga nasos va gidrosilindrdan tashqari, taqsimlagich 3, drossel 4, saqlagich klapan 5 ham kiradi. Bakdan so'rib olinadigan moy nasos yordamida gidrosilindrning porshen bo'shligiga yuboriladi va u porshenni harakata keltiradi. Bu paytning o'zida gidrosilindrning shtok bo'shlig'idagi 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 klapaning sozlash prujinasiga mos keladigan bosim barqarorlashadi.



17.5-rasm. Drosselli boshqariladigan ilgari lama-qaytma gidrouzatma

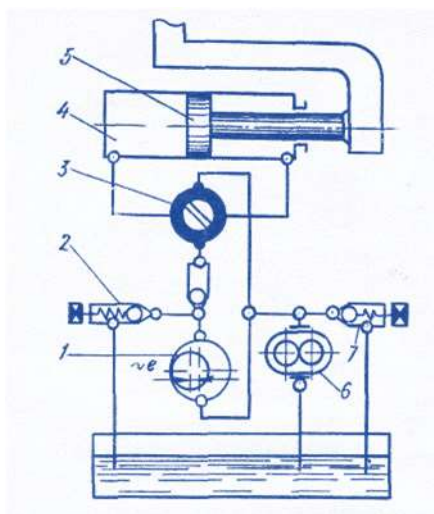
Porsheniing ko'chish tezligi nasosdan gidrosilindrga keladigan moy sarfiga bog'liqdir:

$$g = \frac{Q}{S}, \quad (17.1)$$

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) ishlatiladi. Moslagich shtokdagn yuklanishning o'zgarish xarakteriga bog'liq bo'lmagan holda porshen tezligini o'zgarmas saqlashga imkoniyat beradi.

Hajmiy boshqarishli ilgari lama harakat qiladigan gidrouzatmaning sxemasi 17.7 - rasmda ko'rsatilgan. Boshqariladigan nasos yordamida moy gidrosilindr 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 uzatishinng 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'zgariganda tezlikning o'zgarishiga olib keladi va porshenning harakat tezligi kichik bo'lganda hajmiy boshqarish imkoniyatlarini chegaralab qo'yadi. Hajmiy boshqarishli gidrouzatmaning ustunligi o'zgaruvchan uzatishli nasosning energiyasini yo'qotmasdan, ish organidagi tezlikning uzluksiz o'zgarib turishiga imkon berishidir.



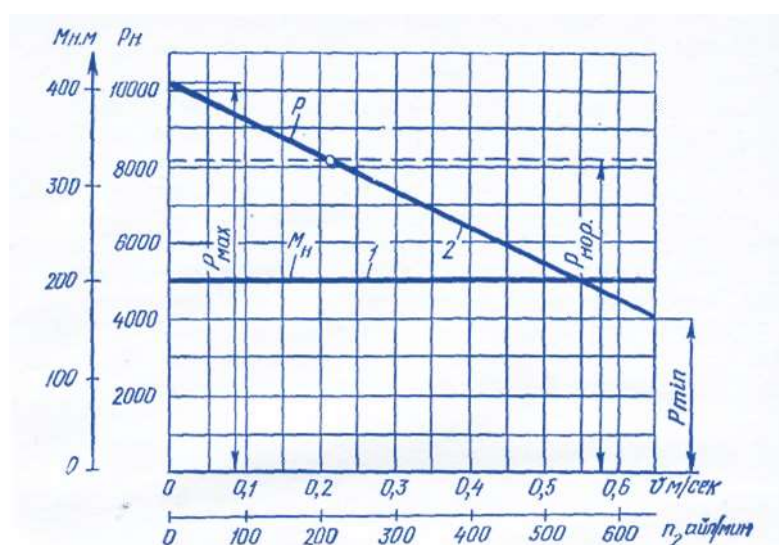
17.6-rasm. Hajmiy boshqariladigan ilgari lama-qaytma gidrouzatma

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'rishiga proporsionaldir. Boshqarishning bu usuli ishga tushiruvchi yuklanish bo'lganda va shtokda katta zo'riqish talab qilinganda qo'llaniladi.

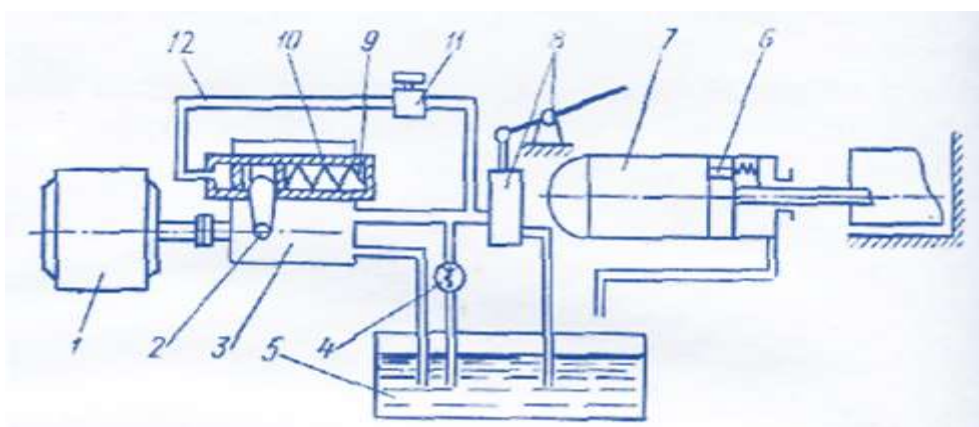
17.4 Hajmiy gidrouzatmalarning xarakteristikalari va FIK

Hajmiy gidrouzatma ajoyib bir xossaga ega: yetaklovchi valdagi momentni o'zgarmas saqlagan holda, yuklanishning o'sishi bilan ish asboblardagi 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 asboblarni yukning ortib ketishi yoki buzilishidan saqlashi zarur bo'lgan hollarda juda qimmatlidir.

17.7-rasmda 17.8-rasmdagi sxema bo'yicha qurilgan hajmiy gidrouzatmaning tashqi xarakteristikasi tasvirlangan bunda tezlikni tartibga solish uchun nasos sarfi o'zgartiriladi. Bosimga bog'liq ravishda nasos sarfini tartibga soladigan qurilmalar shunday sozlangan bo'lishi mumkinki, unda yetaklovchi valdagi moment M_n ning o'zgarmasligi ta'minlanadi.



17.7-rasm. Hajmiy gidrouzatmaning xarakteristikasi



17.8-rasm. Nasos sarfini boshqarishli hajmiy gidrouzatma

17.8-rasmda moment M_n ning tezlikka 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.

$\frac{P_{max}}{P_{nor}}$ 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 valdagi momentning o'zgarishiga ta'sir etmasligi ko'rinadi. Hajmiy gidrouzatmaning bu xossasi tashqi xarakteristikaning „shaffofmasligi“ deyiladi. Ijro etuvchi mexanizm kuch silindri emas, balki gidromotor bo'lganda ham hajmiy gidrouzatma xuddi shunday tashqi xarakteristika tuzish mumkin. U xolda abstsissa o'qiga gidrovdigatelning aylanishlar soni n_T ni, ordinata o'qiga esa momentni qo'yiladi.

Gidromotor ish xajmini boshqarish imkoni 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÷1 oralig'ida amalga oshiriladi, motor ish xajmini boshqarish esa 4÷1 orolig'ida ruxsat etiladi. Nasos va motorning boshqariladigan umumiy boshqarish soxasi 1000÷1 oralig'ida bo'lgan, gidrouzatkichlar xam bor.

Ish organidan olinadigan quvvati N_{no} suyuqlik bilan keltiriladigan N_c quvvati kichik. Bularning nisbati

$$\eta = \frac{N_{no}}{N_c} \quad (17.2)$$

esa gidrouzatmaning umumiy FIK ni beradi va u quyidagicha hisoblanadi:

$$\eta = \eta_T \cdot \eta_S \cdot \eta_{Tr} \quad (17.3)$$

bunda η_T – taqsimlagichning FIK; η_S – silindrning FIK; η_{Tr} – silindrning umumiy 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:

$$\eta_T = \eta_{T.g} \cdot \eta_{T.haj} \quad (22.4)$$

$$\eta_S = \eta_{S.g} \cdot \eta_{S.haj} \cdot \eta_{S.mex} \quad (22.5)$$

$$\eta_{Tr} = \eta_{Tr.g} \cdot \eta_{Tr.haj} \quad (22.6)$$

Nasos validagi quvvat quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$N_v = \frac{N_c}{\eta_n} \quad (22.7)$$

Bunda η_n – nasosning umumiy FIK; u gidravlik, xajmiy va mexanik FIK lar ko'paytmasiga teng:

$$\eta_n = \eta_g \cdot \eta_{haj} \cdot \eta_{mex} \quad (22.8)$$

Xamma gidravlik FIK lar ko'paytmasi $\eta_{ng} \cdot \eta_{Tr.g} \cdot \eta_{S.T}$ 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 ζ_n – mahalliy yo'qotish koeffisienti; g_n – moy uzatgich trubaning birorta elementidagi suyuqlikning m/s lardagi o'rtacha tezligi bo'lib, u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$g = \frac{Q}{S} \quad (22.11)$$

bunda Q – suyuqlik sarfi m^3/s ; S – trubauzatgichning haqiqiy kesim yuzasi, m^2 . $\eta_{n.haj}$, $\eta_{m.haj}$, η_{mo} , $\eta_{s.haj}$ ko'paytma sistemaning umumiy hajmiy FIK ni beradi, uni quyidagi formula yordamida hisoblash mumkin:

$$\eta_{haj} = \frac{Q_n - Q_{oq}}{Q_n} = 1 - \frac{Q_{oq}}{Q_n} \quad (22.12)$$

bunda Q_n – nasosning nazariy sarfi; Q_{oq} – oqib ketish sarfi. Uni (5.19) formula bilan aniqlanadi:

$$Q_{oq} = \frac{h_T^3 \Delta P \cdot \delta}{12 \mu L} \quad (22.13)$$

bunda h_T – tirqish kattaligi; δ – tirqishning eni; ΔP – bosim o'zgarishi; μ – suyuqlikning dinamik qovushoqlik koeffisienti; L – tirqishning suyuqlik oqimi yo'nalishidagi uzunligi.

Butun sistema uchun η_g – va η_{haj} - ko'paytma suyuqlikning FIK ni beradi. U holda umumiy FIK quyidagiga teng bo'ladi:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_{mex.n} \cdot \eta_{mex.s} \quad (22.14)$$

bunda $\eta_{mex.n}$ – nasosning mexanik FIK; $\eta_{mex.s}$ – ish silindrining mexanik FIK. Quvvatni moment va burchak tezlik orqali ifodalasak, 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 $M_{g.d}$ – gidrodvigatel hosil qilgan moment; M_c – nasos validagi moment; $\omega_{g.d}$ – gidrodvigatel valining burchak tezligi ω_c – nasos valining burchak tezligi.

Agar gidrodvigatel o'rnida kuch silindri bo'lsa, u holda bunday sistemaning FIK quyidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$\eta = \frac{pv}{102M_c \omega_c} = \frac{pv60 \cdot 102}{102M_c 2\pi n_c} \approx \frac{pv716}{102M_c n_c} \approx \frac{7pv}{M_c n_c} \quad (22.16)$$

bunda p – porshen shtokidagi bosim; v – porshen shtokining tezligi; M_s – nasos validagi moment; n_s – nasos valining aylanishlar soni. Hidromotor 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 keladigan suyuqlik miqdori.

Amaliy mashg'ulotlarga doir ko'rsatmalar

1 - Masala.

1. Agar ish qismining og'irligi $G = 50000n$, ish qismini ko'tarish balandligi $h = 0,8m$, valning aylanishlar soni $\eta = 1450 \text{ ayl/min}$ va ish suyuqligi MG-30 moyi bo'lsa, buldoo'er ishini boshqaradigan gidroyuritmaning asosiy kattaliklari aniqlansin.

1. Gidroyuritma uchun nasos tanlaymiz.

Echimi: 1. Kerakli quvvat miqdoriga qarab gidroyuritmaning ishlashi uchun shesternayali nasos qabul qilamiz.

2. Ish suyuqligi asosida, nasos burchak tezligini $\vartheta = 5 \text{ m/s}$ qabul qilib, shesternya diametrini aniqlaymiz.

$$d = \frac{\vartheta \cdot 60}{\pi \cdot n} \cdot \frac{5 \cdot 60}{3,14 \cdot 1450}$$

Nasos ikkita bir xil diametrli ($d = 7,0 \text{ sm}$) shestrnyadan iborat va tishlar soni $z = 12$ ta deb qabul qilamiz. U holda tishlanish moduli

$$m = \frac{d}{z} = \frac{7}{12} \approx 0,6 \text{ sm.}$$

bo'lib tishlar e'ni

$$e = 0,5 \cdot z \cdot m = 0,5 \cdot 12 \cdot 0,6 = 3,6 \text{ sm.}$$

teng bo'ladi.

3. Nasos sarfi

$$Q = 0,001 \pi \cdot z^2 \cdot m^3 \cdot n \cdot \eta = 0,001 \cdot 3,14 \cdot (12)^2 \cdot (0,6)^2 \cdot 1450 \cdot 0,8 = \text{m}^3/\text{c.}$$

bu erda: $\eta_Q - \text{хажмий}\eta_Q = 0,8$

4. Katalogdan (3) sarfi $Q = 125 \text{ l/min}$ va bosimi $P = 2,5 \text{ kg/sm}^2$ bo'lgan SH-25 tamg'ali nasos tanlab olamiz.

2. Gidroyuritma quvurni hisoblaymiz.

1. Ma'lumki, suyuqlikning quvurdagi tezlik $3,5 + 6,0 \text{ m/s}$ oraliq bo'lganligi sababli $\vartheta = 4,0 \text{ m/c.}$ qabul qilib, quvur diametrini hisoblaymiz:

$$A = \frac{Q}{\vartheta} = 5,2 \text{ sm}^2 = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ m.}$$

bu erdan quvur diametri

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,2}{3,14}} = 2,6 \text{ sm} = 0,026 \text{ m}$$

3. Gidrotilindrni hisoblash.

Buldozer gidrotizmda shesternayali nasos va ikkita porshenli gidrodvigatel mavjud.

1. (7) formuladan gidrotilindr porshenining yuzasi, gidravlik FIK $\eta_r = 0,93$ bo'lganda

$$S_n = \frac{G}{2P \cdot \eta_r} = \frac{2500}{0,25 \cdot 0,93} = 108 \text{cm}^2$$

U holda porshen diametri

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot S_n}{\Pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 108}{3,14}} = 11,6 \text{cm}$$

Aniqlangan diametri standart $d_n = 150 \text{mm}$ qabul qilamiz. U holda shtok diametri $\frac{d_\omega}{d_n} = 0,5$; $d_\omega = 75 \text{mm}$. (10) formuladan ishchi qismining ko'tarilish tezligi

$$g = \frac{Q_1}{S_n}$$

S_n - porshenning foydali yuzasi

$$S_n = \frac{\pi \cdot d^4}{4} = 117 \text{cm}^2$$

$$g_1 = 0,059 \text{m/c}$$

Ishchi qismining ko'tarilish vaqti (V) formuladan

$$t_1 = \frac{L}{g_1} = \frac{0,8}{0,059} = 13,5 \text{c}$$

L - porshenning siljish yo'li, $L = 0,8 \text{m}$

(3) formuladan, gidrotsilindr quvvati

$$N = Q \cdot P = \frac{F \cdot g_1}{102}; \text{кВм}$$

F - porshenga ta'sir etayotgan kuch, mexanik FIK $\eta_m = 0,93$ bo'lganda

$$F = P \cdot S_n \cdot \eta_m \cdot \eta_r = 3820 \text{кг}$$

U holda

$$N = 2,2 \text{кВм}$$

2 - Masala:

2. Agar drossel teshigining yuzasi $S_0 = 0,05 \text{sm}^2$, sarf koeffitsienti $\mu = 0,62$

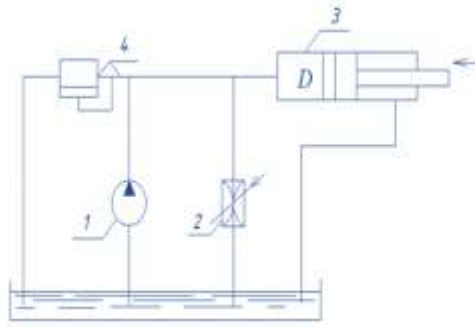
nasos

$$\rho = 900 \text{кг/м}^3$$

sarfi $Q = 0,5 \text{l/s}$ va suyuqlik zichligi . Gidrotsilindr shtokiga qo'yilgan kuch $F = 1200 \text{n}$; porshen diametri $D = 40 \text{mm}$. Quvurda yo'qolgan energiya hisobga olinmasin. Nasos berayotgan bosim miqdori va porshen tezligi aniqlansin.

1-Rasmda xajmiy gidroyuritmaning oddiy sxemasi keltirilgan.

Klapan 4 yopiq



17.9-rasm.

1-nasos; 2-drossel; 3-gidrotsilindr; 4-klapan.

Echimi: 1. (7) formuladan nasos berayotgan bosim miqdori:

$$P = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} = \frac{F}{0,785D^2} = \frac{1200}{0,785(0,04)^2} = 0,06 \text{ MPa}$$

2.Sxemadan ko'rinadiki, drossel sistemaga parallel ulangan u holda (8) formula asosida porshenning tezligi

$$v_1 = \frac{1}{S_n} (Q = S_n \sqrt{\frac{2F}{\rho \cdot S_n}} = \frac{1}{0,785 \cdot (0,04)^2} = \sqrt{0,5 \cdot 10^{-3} - 0,62 \cdot 0,05 \cdot 10^{-4}}$$

$$\sqrt{\frac{2}{900} \cdot \frac{1200}{0,785(0,04)^2}} = 0,28 \text{ m/c}$$

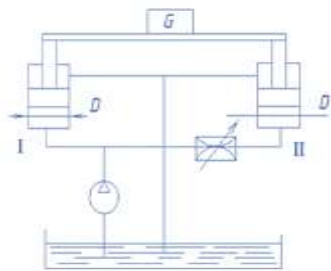
Javob: $P = 0,06 \text{ MPa}$; $v = 0,28 \text{ m/c}$

3 - Masala:

3.G-yukni $v = 0,15 \text{ m/c}$ tezlik bilan ko'tarish uchun diametri $d=100 \text{ mm}$ bo'lgan ikkita gidrotsilindrdan foydalaniladi. YUk shunday qo'yilganki, silindr shtokiga ta'sir etayotgan kuch $F_1 = 8 \text{ kH}$; 2-gidrotsilindr shtokiga ta'sir etayotgan kuch $F_2 = 5 \text{ kH}$; quvur diametri $d=10 \text{ mm}$, suyuqlik zichligi $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ bo'lsa, platforma yukni bir xil ko'tarilishi uchun drosselning maxalliy qarshilik koeffitsienti ξ - qancha bo'lishi kerak.

Ishqalanishda yo'qolgan energiya hisobga olinmasin (2-rasm).

Echimi: Platforma bir xil ko'tarilishi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak.



$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

bu erda: P_1 - I - gidrotsilindrdagi bosim;

P_2 - II gidrotsilindrdagi bosim:

17.10 - rasm.

$$P_1 = \frac{F_1}{0,785 \cdot D^2} = \frac{6}{0,785(0,1)^2} = 762,4 \text{ MPa}$$

$$P_2 = \frac{F_2}{0,785 \cdot D^2} = \frac{5}{0,785(0,1)^2} = 635,3 \text{ MPa}$$

ΔP - drosselda yo'qolgan bosim miqdori.

$$\Delta P = 0,5 \cdot \rho \cdot \xi_g \cdot g^2$$

g -quvurdagi suyuqlik tezligi, uzilmaslik tenglamasidan

$$g = \left(\frac{D}{d}\right)^4 \cdot g_n^2$$

Aniqlangan xadlarni (1) tenglamaga qo'yib, ξ_g -ni aniqlaymiz:

$$\xi_g = \frac{P_1 - P_2}{0,5 \cdot \rho \cdot g^2} = 1,24$$

Javob: $\xi_g = 1,24$.

4 - Masala:

4. Agar gidrotsilindr porshenning diametri $d=100$ mm, foydali yuzasi $S_n = 80\text{cm}^2$, siljish yo'li $L=250$ mm, foydalanayotgan nasos tamg'asi NSH-32, aylanishlar chastotasi $n=1500$ ayl/min. Xajmiy FIK $\eta_Q = 0,9$ bo'lsa, gidrotsilindr yordamida mashina ish organini ko'tarish vaqti aniqlansin.

Echimi: 1. Hidrodvigatel silindriga kelayotgan suyuqlik xajmi.

$$V = S_n \cdot L = 80 \cdot 25 = 2000\text{cm}^3 = 2\text{л}$$

2. Nasos berayotgan haqiqiy suyuqlik sarfi

$$Q_x = V \cdot n \cdot \eta_Q = 0,032 \cdot 1500 \cdot 0,9 = 43\text{л/мин} = 0,72\text{л/с}$$

$$M = 1,59 \frac{P \cdot V}{\eta_M} = \frac{1,59 \cdot 10^3 \cdot 0,032}{0,93} = 53\text{нм}$$

3. Mashinaning ko'tarish vaqti

bu erda:

$$t = \frac{V}{Q_x} = \frac{2}{0,72} = 2,8\text{с}$$

Javob: $t=2,8$ м.

5 - Masala:

5. Agar gidrotsilindr shtokiga qo'yilgan kuch $F = 8 \cdot 10^4\text{H}$, foydalanayotgan nasos tamg'asi NSH-32, mexanik FIK $\eta_M = 0,93$ aylanishlar chastotasi $n=1500$ ayl/min, porshen yuzasi $S_n = 80\text{cm}^2$, nasos FIK $\eta = 0,8$ bo'lsa, nasosni harakatga keltiruvchi quvvat va moment miqdorini aniqlang.

Echimi: 1. Gidrotsilindr silindridagi bosim (7) formuladan

$$P = \frac{F}{\delta_n} = \frac{8 \cdot 10^4}{8} = 1000\text{H/см}^2 = 100\text{МПа}$$

2. Nasos validagi aylantiruvchi moment (14) formuladan

$$M = 1,59 \frac{P \cdot V}{\eta_M} = \frac{1,59 \cdot 10^3 \cdot 0,032}{0,93} = 53\text{Нм}$$

3. Nasosni harakatga keltiruvchi quvvat (3) formuladan bu erada:

$$N_n = \frac{P \cdot Q}{612 \cdot \eta} = \frac{10^3\text{H/см}^2 \cdot 43\text{л/мин}}{612 \cdot 0,8} = 8,75\text{кВт}$$

Javob: $M=53$ n m: $N_n = 8,75$ кВт.

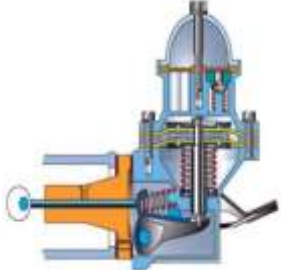


TESTLAR

Test topshirig'i	A	B	C	D
Suyuqlikning zichligi qanday aniqlanadi?	$\rho = \frac{m}{V}$	$\gamma = \frac{G}{V}$	$\gamma = \rho g$	$\beta_c = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp}$
Suyuqlikning solishtirma og'irligini aniqlash formulasi?	$\rho = \frac{m}{V}$	$\beta_c = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp}$	$\gamma = \frac{\rho}{g}$	$\gamma = \frac{G}{V}$
Suyuqlikning siqiluvchanligini aniqlash formulasi?	$\gamma = \frac{\rho}{g}$	$\beta_{t^0} = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t}$	$\rho = \frac{m}{V}$	$\beta_c = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp}$
I.N'yuton gipotezasi to'g'ri yozilgan javobni ko'rsating?	$\gamma = \frac{G}{V}$	$T = \mu \omega \frac{du}{dn}$	$\rho = \frac{m}{V}$	$\beta_c = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp}$
Suyuqlikning harorat ta'sirida kengayishini aniqlash formulasi?	$\beta_{t^0} = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t}$	$\beta_c = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp}$	$\rho = \frac{m}{V}$	$\gamma = \frac{\rho}{g}$
Kinematik yopishqoqlik koeffitsenti bilan dinamik yopishqoqlik koeffitsentining farqi qaysi kattalikka bog'liq?	Zichlik	Og'irlik kuchi	Hajm	Ishqalanish koeffitsenti
Gidravlika fanining predmeti?	Gidravlika – suyuqlikning nisbiy tinch holat va harakat qonuniyatlarini o'rganadi va bu qonuniyatlarni texnikaga qo'llaydi	Gidravlika – tabiiy fanlardan biri bo'lib, suyuqlikning nisbiy tinch holat qonuniyatlarni o'rganadi	Gidravlika – suyuqlikning harakat qonuniyatlarini o'rganadi va bu qonuniyatlarni texnikaga qo'llaydi	Gidravlika – qattiq jismlarning harakat qonuniyatlarini o'rganadi va bu qonuniyatlarni texnikaga qo'llaydi
Manometrik bosim qanday aniqlanadi?	$p_m = p_{atm} - p_0$	$p_m = p_0 - p_{atm}$	$p_m = p_0 - \mathcal{H}$	$p_m = p_0 + \mathcal{H}$
Vakuummatrik bosim qanday aniqlanadi?	$p_v = p_0 + \mathcal{H}$	$p_v = p_0 - p_{atm}$	$p_v = p_0 - \mathcal{H}$	$p_v = p_{atm} - p_0$
P'ezometrik balandlik qanday aniqlanadi?	$h_A = \frac{p_A}{\gamma}$	$h_A = \mathcal{H}$	$h_A = p_A \gamma$	$h_A = p_A$
Vakuummatrik balandlik qanday aniqlanadi?	$h_v = \frac{p_a - p_A}{\gamma}$	$h_v = \mathcal{H}$	$h_v = p_A \gamma$	$h_v = p_A$
Tutash idishlar qonuni to'g'ri yozilgan javobni ko'rsating	$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$	$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$	$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$	$\gamma_1 h_2 = \gamma_2 h_1$
Bosim o'lchovchi suyuqlikli asboblarni ko'rsating	P'ezometr	Prujinali vakuummetr	Prujinali manometr	Gidravlik press
Gidrostatika bo'limi nimani o'rgatadi?	Suyuqlikning muvozanat qonunlarini o'rganib, texnikaga tadbiiq etishini o'rgatadi	Suyuqlik harakat qonunlarini o'rganib, texnikaga tadbiiq etishni o'rgatadi	Suyuqliklarni xossalarini o'rganib, texnikaga tadbiiq etishni o'rgatadi	Muvozanatdagi suyuqlikka ta'sir etuvchi kuchlarni o'rgatadi
Suyuqlikda bosimning uzatilishi qaysi qonun orqali ifodalanadi?	Arximed qonuni	Paskal' qonuni	Eyler qonuni	N'yuton qonuni
Manometrik bosim	Hamma vaqt	Absolyut bosim	Absolyut bosim	Absolyut bosim

qachon nolga teng bo'ladi?		atmosfera bosimidan kichik bo'lsa	atmosfera bosimiga teng bo'lsa	atmosfera bosimidan katta bo'lsa
Gidrostatikaning asosiy tenglamasi qaysi kuchlar hisobga olinganda to'g'ri bo'ladi?	Faqat og'irlik kuchini	I shqalanish kuchini, og'irlik kuchini	Inertsia kuchini, og'irlik kuchini	Faqat ishqalanish kuchini
Qaysi ma'lumot Paskal' qonunini ifodalaydi?	Suyuqlikka tashqaridan berilgan bosim suyuqlikning hamma nuqtalariga bir xil miqdorda o'zgarishsiz uzatiladi	Suyuqlikka botirilgan jismga siqib chiqaruvchi kuch ta'sir qilib, bu kuchning kattaligi botirilgan jism siqib chiqargan suyuqlik hajmiga teng bo'ladi	Gidrostatik bosim u ta'sir qilayotgan yuzaga normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi	Gidrostatik bosim u ta'sir qilayotgan yuzaga vertikal yo'nalgan bo'ladi
Vakuummeter 0,5 at ni ko'rsatyapti, absolyut bosim qanchaga teng?	$0,5 \frac{kgk}{sm^2}$	$1,2 \frac{kgk}{sm^2}$	$0,8 \frac{kgk}{sm^2}$	$1 \frac{kgk}{sm^2}$
Muvozanatdagi suyuqlikning berilgan nuqtasidagi og'irlik bosimi umumiy holda nimaga teng?	Absolyut gidrostatik bosimdan suyuqlik erkin satxidagi bosimning ayirmasiga teng	Absolyut gidrostatik bosimdan vakuummetrik bosimning ayirmasiga teng	Absolyut gidrostatik bosimdan shu nuqtadagi manometrik bosimning ayirmasiga teng	Erkin satxdagi gidrostatik bosimdan atmosfera bosimining ayirmasiga teng
Qaysi formula gidrostatikaning asosiy formulasi?	$z + \frac{P}{\gamma} = const$	$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} > z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$	$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} < z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$	$p = \rho gh$
Ixtiyoriy nuqtadagi bosimni qaysi formula orqali hisoblash mumkin?	$p = p_0 + \rho gh$	$p = p_0 + gh$	$p = \rho gh$	$p = p_0 - \rho gh$
Gidrostatik bosim qiymati yo'nalishga bog'liqligi?	Yo'q, bog'liq emas	Ha, bog'liq	Ba'zan bog'liq, ba'zan yo'q	Harakat mavjud bo'lganda
$1 \frac{kgk}{sm^2}$ da texnik atmosfera ...	1,0 at	0,5 at	1,5 at	2,0 at
Muvozanatdagi suyuqlikning berilgan nuqtasidagi og'irlik bosimi umumiy holda nimaga teng?	Absolyut gidrostatik bosimdan suyuqlik erkin satxidagi bosimning ayirmasiga teng	Absolyut gidrostatik bosimdan atmosfera bosimining ayirmasiga teng	Absolyut gidrostatik bosimdan shu nuqtadagi manometrik bosimning ayirmasiga teng	Erkin satxdagi gidrostatik bosimdan atmosfera bosimining ayirmasiga teng
Quvurdagi bosim 200 kPa Manometr qanchani ko'rsatyapti (atmosfera bosimi 100 kPa ga teng)?	100kPa	150kPa	0,5 at	0,2 at
Quvurdagi bosim 50 kPa Vakuummetr qanchani ko'rsatyapti (atmosfera bosim 100 kPa ga teng)?	0,5 at	$20 \cdot 10^3 \frac{N}{m^2}$	100kPa	1,2 at
Suv quvuriga ulangan manometr 0,2 $\frac{kgk}{sm^2}$ ni ko'rsatayapti. Quvurdagi p'ezometrik naporni aniqlang	200 sm	0,04 m	$700 \frac{kgk}{sm^2}$	200 mm
Suv quvuriga ulangan p'ezometr ko'rsatkichi $h_p=70sm$. Quvurdagi bosimni aniqlang	$400 \frac{N}{m^2}$	$7000 \frac{N}{m^2}$	$300 \frac{kg}{s} \frac{1}{sm^2}$	$50 \frac{gk}{sm^2}$
N va kgk orasidagi bog'liqlikni aniqlang	1 kgk = 9,81 N	1 kgk = 0,5 N	1 kgk = 0,1 N	1 kgk = 2 N
Gidrostatik bosim kuchi analitik usulda qanday	$P = p_0 - \gamma h$	$P = W_{b,e} = S_{b,e} b$	$P = p_0 + \gamma h$	$P = \gamma_c \omega = p_c \omega$

hisoblanadi?				
Gidrostatik bosim kuchi grafonalitik usulda qanday hisoblanadi?	$P = p_0 + \gamma h$	$P = \gamma_c \omega = p_c \omega$	$P = W_{b,e} = \Omega_{b,e} b p = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$	
Vater chizig'i deb nimaga aytamiz?	Suzish tekisligi bilan jism sirtining kesishish chizig'i	Suzayotgan jism normal holatda uning o'rtasidan o'tgan 00 o'qi	Jism yon devorining erkin sirt bilan kesishishi	Suzish tekisligiga perpendikulyar bo'lgan chiziq
Arximed kuchi to'g'ri yozilgan javobni ko'rsating	$G = P = \gamma W$	$G = \gamma \omega$	$F = \gamma WS$	$F = m \nu$
Bosim markazi deb nimaga aytiladi?	Gidrostatik bosim kuchining teng ta'sir etuvchisi qo'yilgan nuqtasiga	Yuza diagrammalari kesishgan nuqtasiga	Yuzaning egrilik markaziga qo'yilgan bosimga	Qo'yilgan bosimning proektsiyasiga
Qachon bosim markazi bilan shakl og'irlik markazi ustma-ust tushadi?	Tekis shakl gorizonttal bo'lsa	Tekis shakl vertikal holatda bo'lsa	Shakl qavariq bo'lsa	Shakl botiq bo'lsa
Egri sirtga ta'sir etuvchi kuch qanday aniqlanadi?	$P = W_{b,e} = \Omega_{b,e} b$	$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$	$P = \gamma_c \omega = p_c \omega$	$P = p_0 + \gamma h$
Gidrostatik paradok deb nimaga aytiladi?	Suyuqlikdagi bosim uning shakliga va xajmiga emas, balki chukurligiga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi	Suyuqlikdagi bosim idishning shakliga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi	Suyuqlikdagi bosim idishning shakliga va xajmiga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi	Suyuqlikdagi bosim idishni xajmiga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi
Suyuqlikda jismlarning suzishi qaysi qonunga asoslangan?	Arximed qonuni	Paskal' qonuni	Bord qonuni	N'yuton qonuni
Vertikal devordagi bosim markazi bu	Bosim epyurasining og'irlik markazi	Gidrostatik bosim qo'yilgan nuqta	Gidrostatik bosim kuchining yuza og'irlik markaziga qo'yilgan nuqtasi	Og'irlik markazining ekstsentrisetdan siljishi
Egri sirtga ta'sir etuvchi kuchning gorizonttal o'qqa nisbatan qiyligi	$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x}$	$\alpha = \arctg \frac{P_x}{P_y}$	$\alpha = tg \frac{P_z}{P_x}$	$\alpha = tg \frac{P_x}{P_y}$
Bosim tanasini aniqlash nima uchun kerak?	Egri sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini vertikal tashkil etuvchisini aniqlash uchun	Egri sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini gorizonttal tashkil etuvchisini aniqlash uchun	Vertikal' sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini aniqlash uchun	Gorizonttal sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini aniqlash uchun
Qaysi holatda gidravlik radius quvur radiusining yarmiga teng?	Silindrik trubalarda suyuqlik to'lib oqqanda	To'g'ri to'rtburchakli novlarda suyuqlik oqqanda	Suyuqlik trapetsiadal novlarda oqqanda	Suyuqlik uchburchak novlarda oqqanda
Taqqoslash tekisligi bilan erkin sirt ustma-ust tushadimi?	Ustma-ust tushadi	Ustma-ust tushmaydi	Laminar harakat rejimida	Suyuqlik harakatlanganda
Gidrodinamika bo'limi nimani o'rgatadi?	Suyuqlik harakat qonunlarini o'rganib, texnikaga tadbiq etishni o'rgatadi	Suyuqlikning muvozanat qonunlarini o'rganib, texnikaga tadbiq etishni o'rgatadi	Suyuqliklarni xossalarini o'rganib, texnikaga tadbiq etishni o'rgatadi	Muvozanatdagi suyuqlikka ta'sir etuvchi kuchlarni o'rgatadi
Qaysi formula sarfni hisoblash formulasi?	$Q = \nu \omega$	$Q = \frac{\nu}{t}$	$Q = \omega \rho$	$Q = \mu_T \omega \sqrt{2g}$
Uzluksizlik tenglamasini ko'rsating?	$\frac{\nu_1}{\omega_1} = \frac{\nu_2}{\omega_2}$	$\frac{\nu_1}{\omega_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$	$\nu_1 \omega_2 = \nu_2 \omega_1$	$Q_1 \neq Q_2$

Oqimning o'rtacha tezligi qanday aniqlanadi?	$h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g}$	$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$	$Q = \omega v$	$v = \frac{Q}{\omega}$
Shezi koeffitsienti qanday aniqlanadi?	$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$	$v = \frac{Q}{\omega}$	$Q = \omega v$	$h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g}$
Gidravlik radius qaysi formulada to'g'ri ko'rsatilgan?	$R = \frac{\omega}{\chi}$	$R = \frac{\chi}{\omega}$	$\omega = ab$	$\chi = 2(a+b)$
Uchburchak shakldagi kanalning harakatdagi kesim yuzasi qanday hisoblanadi?	$\omega = mh^2$	$\omega = ph^2$	$\omega = mh$	$\omega = ph$
To'g'ri to'rtburchak shakldagi kanalning harakatdagi kesim yuzasi qanday hisoblanadi?	$\omega = mh^2$	$\omega = bh$	$\omega = ph^2$	$\omega = mh$
Kvadrat quvurning tomoni $a = 20 \text{ sm}$ Xo'llangan perimetrni aniqlang?	08 m	8 m	8 sm	80 mm
Nasosning so'ruvchi quvuri qaysi quvurlar turiga kiradi?	Uzun quvurlar	Qisqa quvurlar	Murakkab quvurlar	Uzun va qisqa quvurlar
Gidravlik tizimlar deb nimaga aytiladi?	Suyuqlik energiyasidan foydalanuvchi va suyuqlik energiyasini o'zgartiruvchi mashinalarga gidravlik tizimlar deyiladi.	Suyuqlik energiyasidan foydalanuvchi mashinalarga gidravlik tizimlar deyiladi.	Suyuqlik energiyasini o'zgartiruvchi mashinalarga gidravlik tizimlar deyiladi.	Suyuqlikka energiya beruvchi mashinalarga gidravlik tizimlar deyiladi.
Nasoslar deb nimaga aytiladi?	Suyuqlik energiyasini o'zgartirish bilan suyuqlik uzatuvchi mexanizmlarga aytiladi.	Suyuqlik energiyasidan foydalanuvchi mashinalarga nasoslar deyiladi.	Muvozanatdagi suyuqlik qonunlari asosida ishlaydigan mashinalarga nasoslar deyiladi.	Suyuqlik energiyasini elektrik energiyasiga aylantiruvchi mashinalarga nasoslar deyiladi.
Dinamik nasoslar qanday nasoslar?	Suyuqlik kinetik energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar	Suyuqlik potentsial energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar	Suyuqlik ichki va potentsial energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar	Suyuqlik potentsial va kinetik energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar
Hajmiy nasoslar deb nimaga aytiladi?	Suyuqlik potentsial energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar	Suyuqlik ichki va kinetik energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar	Suyuqlik potentsial va kinetik energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar	Suyuqlik kinetik energiyasini o'zgartiruvchi nasoslar
Parrakli nasoslar deb qanday nasoslarga aytiladi?	Markazdan qochma, vixrli, diafragma	O'qiy, struyali, porshenli	Markazdan qochma, o'qiy, diagonal	Diagonal, plunjerli.

 <p>Chizmada nasosning qaysi turi tasvirlangan?</p>	<p><i>aksial-porshenli nasos</i></p>	<p><i>diafragmali nasos</i></p>	<p><i>porshenli nasos</i></p>	<p><i>shesterniyali nasos</i></p>
 <p>Chizmada nasosning qaysi turi tasvirlangan?</p>	<p><i>aksial-porshenli nasos</i></p>	<p><i>diafragmali nasos</i></p>	<p><i>porshenli nasos</i></p>	<p><i>shesterniyali nasos</i></p>
 <p>Chizmada nasosning qaysi turi tasvirlangan?</p>	<p><i>aksial-porshenli nasos</i></p>	<p><i>plastinali nasos</i></p>	<p><i>porshenli nasos</i></p>	<p><i>shesterniyali nasos</i></p>

GLOSSARIY

A

Arhimed qonuni - Suyuqlikka botirilgan jismga, suyuqlikning jism hajmidagi og'irlik kuchiga teng bo'lgan, vertikal yuqoriga yo'nalgan kuch ta'sir etadi. Bu holat Arhimed qonuni deb ataladi.

Anomal suyuqliklar - Nyutonning asosiy ichki ishqalanish qonunlariga bo'yinsunmaydigan suyuqliklarga nonyuton yoki anomal suyuqliklar deyiladi.

B

Barqaror (statsionar) harakat - deb, shunday harakatga aytiladiki, bunda suyuqlik harakatlanayotgan oblastning har qaysi nuqtalarida mahalliy tezliklar vaqt bo'yicha o'zgarmaydi.

Bingamo suyuqliklari - Qovushoq-plastik suyuqlikning xossasini ifodalaydi bog'lanishni amerikalik olim Bingamo o'rnatgan, shuning uchun bunday suyuqliklarni bingamo suyuqliklari deyiladi.

Bernulli tenglamasi - amaliy va nazariy jixatdan katta ahamiyatga ega bo'lib, u bosim bilan tezlikning bog'lanishini ifodalaydi. Har xil kesimlardagi z o'tmetkalarining o'zgarishligi natijasida Bernulli tenglamasidan harakatlanayotgan suyuqlikning kerakli xossasi kelib chiqadi: tezlik oshishi bilan bosim kamayadi, tezlik kamayishi bilan esa bosim ortadi.

Bosim markazi - Gidrostatik bosim kuchning tekis devorni kesib o'tgan nuqtasiga, bosim markazi deyiladi.

D

Dinamik qovushoqlik - tezlik gradienti birga teng bo'lganda suyuqlik qatlamlari tekkan birlik yuzasiga to'g'ri keluvchi ishqalanish kuchi.

G

Gidravlik zarb - qisuvli quvuro'tkazgichda oqayotgan suyuqlik tezligining tez (bir onda) o'zgarishi natijasida (mas, zulfin tez yopilganda) suyuqlikda bosimning keskin ortishi.

Gidravlik radius - deb, oqim jonli kesimi yuzasining ho'llangan perimetri nisbatiga aytiladi

Gidrostatika – gidravlikaning bo'limi bo'lib, suyuqlik muvozanatining qonunlarini o'rganadi. Bu qonunlarni ko'rib chiqishdan oldin, tinch holatda bo'lgan suyuqlik hajmiga ta'sir qiluvchi kuchlarni qaraymiz.

Gidrostatik paradoks - Idish shakllaridan qat'iy nazar P_0 bosimlar, ρ zichliklar, ω yuzalar va chuqurliklar teng bo'lsa, unda gorizontallardagi bosim kuchlari bir xil bo'ladi. Bu Gidrostatik paradoks deyiladi

Gidravlik yo'qotishlar - nasosdagi gidravlik qarshiliklar (gidravlik ishqalanish, nasosga kirish va chiqishda, uyurmalar hosil bo'lishida va h.)ni yengishga sarflanadigan energiyadir.

Gidravlik uzatmalar - Suyuqliklar ishtirokida bir mexanizmning ikkinchi mexanizmi harakatga keltirishiga asoslangan mexanizmlar gidravlik uzatmalar deyiladi.

F

Fazoviy harakatda - kinematik xarakteristikalarini uch x, y va z koordinatalarga bog'liq.

H

Ho'llangan perimetr - deb, kanal yoki quvur qattiq devorlariga, suyuqlik tekkan oqim jonli kesimining uzunligiga aytiladi.

Hajmiy nasoslar - ikki katta guruhga bo'linib, ular porshenli va rotorli nasoslar deyiladi.

Hajmiy yo'qotish

I

Ideal suyuqlik - bu suyuqlik modeli, ya'ni tabiatda va texnikada uchramaydigan ideallashtirilgan muhit. Biroq bu ideallashtirilgan muhit dinamika qonunlarini o'rganishda katta ahamiyat kasb etadi.

J

Jonli kesim - Elementar oqim naychalarining ko'ndalang kesimlari oqim jonli kesimini tashkil etadilar. Oqim ko'ndalang kesimi yuzasining hamma nuqtalarida, shu yuzani kesib o'tadigan oqim chiziqlari normal yo'nalgan bo'lsa, bunday ko'ndalang kesim yuzasiga ω jonli kesim deyiladi.

K

Kinematik qovushoqlik - suyuqlik dinamik qovushqoqligining zichligi nisbatiga teng.

L

Laminar (qatlamli) harakat - alohida zarrachalarning aralashmasdan, tezlik va bosimlarning pulsatsiyasiz tartibli harakatini ifodalaydi.

M

Massali (yoki hajmiy) kuchlar - bu kuchlar ajratib olingan suyuqlik hajmi massasiga proporsional (yoki o'zgarmas zichlik muhitida hajmga proporsional) va shu hajm muhitining hamma nuqtalarida ta'sir qiladi.

Mahalliy napor yo'nalishi - Veysbax formulasidan hisoblanadi.

Mexanik yo'qotishlar - nasosning podshipnik va maydonlaridagi ishqalanishga, krivoship-shatunli mexanizmlarga sarflangan quvvat yo'qotishlari bo'lib, uni mexanik FIK hisobga oladi.

N

Naporli oqimlar - hamma tomonidan qattiq devor bilan chegaralangan bo'ladi. Bunday oqimga suyuqlik harakati qandaydir tashqi manba (naporli rezervuar, nasos va boshqa) bilan tutashgan bosim ta'sirida sodir bo'ladi.

Naporsiz oqimlar - qisman qattiq va qisman erkin sirt bilan chegaralangan. Bularda suyuqlik harakati faqatgina og'irlik kuchi ta'siri ostida sodir bo'ladi.

Nasos - tashqaridan uzatilgan energiyani suyuqlik oqimining bosim energiyasiga aylantirib beruvchi gidravlik mashina.

Nasosning bosimi - Nasosning uzatgich va so'rg'ich qismlaridagi solishtirma energiyalar ayirmasiga nasosning bosimi deyiladi.

Nonyuton qovushqoq – plastik suyuqliklar - o'zlariga nyuton suyuqliklar qovushqoqligini va qattiq plastik jism xossalarini mujassam etadilar.

O

Oqim - Harakatlanayotgan suyuqlik oblasti chegaraviy ohirgi o'lchamlarga ega bo'ladi va u oqim deyiladi. Oqim uzluksiz elementar oqim naychalarining yig'indisidan tashkil topadi. Bunday modelni suyuqlik oqimining naychali oqim modeli deyiladi.

Paskal qonuni - Hidrostatikaning $p = p_o + \rho gh$ asosiy tenglamasidan ko'ramizki, tinch holatda bo'lgan suyuqlikning p_o sirtidagi bosim shu idish ichidagi suyuqlikning istalgan nuqtasiga o'zgarishsiz ta'sir qiladi.

R

Ravon o'zgaruvchan harakat - Suyuqlik harakatida oqim chiziqlari to'g'ri chizikli va egri chizikli, shuningdek, o'zaro parallel va parallel bo'lmagan bo'lishlari mumkin. Bu holatlar jonli kesimdagi bosim taqsimlanishi xususiyatlariga ta'sir etadilar va Bernulli tenglamasini qo'llanishiga aniq cheklanishlarni kiritadilar. Bunga bog'liq holda gidravlikada oqim naycha chiziqlar, og'irligi juda kam bo'lgan va parallel yoki deyarli parallel bo'lgan oqim chizig'iga ega ravon o'zgaruvchan harakat tushunchasi kiritiladi.

Real suyuqlik harakatida - normal kuchlanishlardan tashqari yana urinma kuchlanishlar ham sodir bo'ladi. Real suyuqlik o'zining qatlamlari nisbiy siljishiga va zarrachalariga qarshilik ko'rsatish xususiyatiga ega bo'ladi.

Reynolds kritik soni - qiymati quvur kiritishidagi sharoitlariga, uning devori g'adir-budirligiga, suyuqlilardagi boshlang'ich ta'sirlanishlarga yoki ularning bo'lmasligiga, konveksion oqimlarga va boshqalarga bog'liq.

S

Sarf - Birlik vaqt ichida oqim jonli kesimidan o'tadigan suyuqlikning hajmiy miqdoriga qaraladigan kesimning oqim sarfi deyiladi.

Sifon - bu tirsaklari har-xil uzunlikdagi burilgan quvur bolib, suyuqlik bu quvur orqali yuqori sathdagi rezervdan pastki sathdagi rezerevga oqib tushadi.

Sirtqi kuchlar - Bu kuchlar ajratib olingan suyuqlik hajmining tashqi sirtlariga ta'sir qiladi va shu sirtlar yuzalariga proporsional. Sirtqi kuchlarga suyuqlikning erkin sirtidagi atmosfera bosimi, suyuqlikdagi idish devori bosimi, suyuqlikdagi porshen bosimi va h.k. Sirtqi kuchlar ajratilgan suyuqlik hajmining sirti bo'yicha uzluksiz taqsimlangan.

Suyuqlik - bu oquvchanlikka ega bo'lgan jism. Tomchili suyuqlik va gazlar oquvchanligi bilan xarakterlanadi. Moddalar holati, uning atom-molekulyar tuzilishi bilan aniqlanadi.

Suyuqlik kinematikasi - gidromexanikaning bo'limi bo'lib, bunda suyuqlik harakatining turlari va kinematik xarakteristikalarini o'rganilib, harakatni sodir etuvchi kuchlar qaralmaydi.

Suyuqlikning nisbiy muvozanati - uning harakatida zarrachalarining yon tomonidagi zarrachalar bilan aralashishi sodir bo'lmaydi va suyuqlikning hamma massasining qattiq jism kabi harakatlanishiga aytiladi.

Suzayotgan jismning mustahkam muvozanati - deb, jismning tinch holatdan chiqishiga va qandaydir yotiq holatga olib kelgan kuch ta'siridan keyin, uning boshlang'ich holatiga qaytishiga aytiladi.

So'rish yo'li - korpusning so'rish trubasidan ish g'ildiragiga o'tishdagi kanalidir.

T

Tekis harakat - oqim chiziqlarining to'g'ri chizikli va parallelligi bilan tavsiflanadi.

Tekis (ikki o'lchamli) harakatda - kinematik xarakteristikalar faqat ikki koordinataga bog'liq bo'lib, uchinchi koordinataga bog'liq bo'lmaydilar

Teng bosimli sirt - sirtning hamma nuqtalarida bosim bir xil bo'lsa, bunday sirtlarni teng bosimli sirt deyiladi.

Tutash idishlar - pastki tomonlari o'zaro birlashgan idishlar. Idishlarning qanday shakldaligidan qat'i nazar ular bir xil suyuqlik bilan to'ldirilsa, ikkala idishda ham suyuqlik sathi birday bo'ladi. Agar idishlar har xil suyuqliklar bilan to'ldirilsa, zichliklari turlicha bo'lganligi uchun ularning sathi har xil balandlikda joylashadi, chunki balandlik zichlikka teskari mutanosib. Agar tutash idishlarning bir tirsagi berk bo'lsa, suyuqliklar satxlari orasidagi farq o'sha berk tirsakdagi bosimga bogliq bo'ladi. Manometrlar, bug' qozonlarining suv o'lchash asboblari, suyuqliklarning zichligini o'lchash asboblari va boshqa asboblarda qo'llanadi.

Trayektoriya - Suyuqlik zarrachasining vaqtga bog'liq holda bosib o'tgan yo'li, uning trayektoriyasi deyiladi.

Turbulent (tartibsiz) harakat - suyuqlik zarrachalarining intensiv aralashishini (xaotik) hamda tezlik va bosimlarning pulsatsiyalarini xarakterlaydi.

U

Uzunlik bo'yicha napor yo'nalishi - Darsi-Veysbax formulasidan hisoblanadi.

Uzun o'tkazgich quvurlar - hisobida h_e uzunlik bo'yicha yo'qolgan bosim topiladi, keyin esa h_e topilgan qiymatni 5...10 % ga ko'paytirib, mahalliy napor yo'qolishi yig'indisi hisoblanadi.

Uyurmali nasoslar - ishlash prinsipi bo'yicha markazdan qochma nasos hisoblanadi.

V

Vakuum - agar nuqtada absolyut bosim atmosfera bosimidan kichik bo'lsa, unda absolyut bosimning atmosfera bosimigacha yetmasligi vakuum deyiladi

Venturi sarf o'lchagich - uzatkich quvurlarda suyuqlikning oqib o'tadigan sarfini o'lchash uchun o'rnatiladi

Y

Yo'qolgan napor - Oqimda ikkala ko'rinishdagi napor (mahalliy, uzunlik boyicha) yo'qolishlari hosil bo'ladi va umumiy yo'qolgan naporni topish uchun ularning qiymatlarini qo'shish kerak.

Yaxlit uzluksiz muhit - suyuqlikning modeli bo'lib, uning tinch holati va harakatini o'rganishda foydalaniladi: yaxlit uzluksiz muhit deb faraz qilish, suyuqlik harakatini tavsiflovchi hamma parametrlarini koordinata va vaqtning uzluksiz va differensiallanadigan funksiyalari deb hisoblash mumkinligini ko'rsatadi.

Q

Qovushoqlik - suyuqlikning qatlamlar nisbiy siljishiga qarshilik ko'rsatish xossasi.

ILOVALAR

1 - jadval

Suvning kinematik yopishqoqlik koeffitsiyenti ν , cm^2 / sek , haroratga bog'liq xolda

t^0	ν	t^0	ν	t^0	ν
1	0,017321	11	0,012740	22	0,009892
2	0,016740	12	0,012396	24	0,009186
3	0,016193	13	0,012067	26	0,008774
4	0,015676	14	0,011756	28	0,008394
5	0,015188	15	0,011463	30	0,008032
6	0,014726	16	0,011177	35	0,007251
7	0,014289	17	0,010888	40	0,006587
8	0,013873	18	0,010617	45	0,006029
9	0,013479	19	0,010356	50	0,005558
10	0,013101	20	0,010105	55	0,005147
				60	0,004779

2 - jadval.

Gidrouzatmalarda qo'llaniladigan industrial moylarning asosiy xarakteristikasi

Neft moylarining nomi va markasi	γ_4^{20} solishtirma og'irlik (20°C da)	Kinematik qovushoqlik, SST da (20°C da)	Elastik moduli $E/9,8 \cdot 10^6$ N/m ²	1 barga tegishli havoning eruvchanligi (20°C) da	Issiqlik sig'imi (20°C da)	Yonish temperaturasi (°C da)	Qotish temperaturasi, °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 (urchuq moyi 2) GOST 1707-51	0,92	49,0	136	0,0759	0,436	165	-30	0,14
Industrial 20 (urchuq 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	γ_4^{20} solishtirma og'irlik (20°C da)	Kinematik qovushqoqlik, SST da (20°C da)	Elastik moduli E/9,8·10 ⁶ N/m ²	1 barga tegishli havoning eruvshanligi (20°C) da	Issiqlik sig'imi (20°C da)	Yonish temperaturasi (°C da)	Qotish temperaturasi, °C	Kislotalik soni KOH
AMG-10 moyi GOST 6794-53	0,85	16,0	133	0,0942	0,4520	92	- 70	0,05
MK-8 aviasiya moyi GOST 6457-53	0,885	30,0	135	-	0,4410	135	-55	0,04
Aralashmali transformator moyi BTI-T GOST 982-55	0,887	30,0	135	0,0828	0,4420	135	-45	0,03
Uchruq moyi AU, GOST 1642-50	0,889	49,0	135	0,0759	0,4425	169	-45	0,07
Turbina moyi GOST 32-53	0,894	96,0	135	-	0,4430	180	-15	0,20
Yengil avtomobil uchun uzatma moyi GTM-3	0,900	105,0	135	-	0,4430	170	-40	0,35

FOYDALANILGAN ADABIYOT

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 28.01.2022 yildagi PF-60-sonli "2022 — 2026 yillarga mo'ljallangan yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida" farmoni. lex.uz/
2. Mirziyoyev Sh.M. "Erkin va farovon demokratik O'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz" Toshkent, O'zbekiston, 2016-56b.
3. Ahlam I. Shalaby. Fluid Mechanics for Civil and Environmental Engineers London 2018 y. 1685 pp.
4. Andrew Chadwick, John Morfett and Martin Borthwick. HydrAuliCs in Civil And EnvironMEntAl EnginEERING. 5th Edition. London 2013 y. 639 pp.
5. Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, David F. Mazurek, Phillip J. Cornwell, Brian P. Self. Vector Mechanics For Engineers Statics and Dynamics. New York 2016 y. 1473 pp.
6. Andrew Chadwick and John Morfett. Hydraulics in civil and environment engineering. London 2003 y. 251 pp.
7. Arifjanov A.M. Gidravlika. Toshkent. 2021. 170 b.
8. Arifjanov A.M., Raximov Q.T., Samiev L.N., Apakxujaeva T.U., Atakulov D.Ye. Gidravlika va gidravlik mashinalar. Toshkent. TIQXMMI 2020
9. T.Kaletova, A.Arifjanov "Hydromechanika", Nitra, 2019y, -160 pages.
10. A.D.Girgidov "Texnicheskaya mexanika jidkosti i gazov". (Uchebnik) Sankt-Peterburg. SPbGTU, 1999g,-394 str.
11. A.L.Zuykov "Gidravlika" Moskva. Stroitelstvo, 2014g,-2 tom
12. Latipov K.Sh., Arifjanov A.M., Fayziev X. «Gidravlika». Toshkent. TAQL. 2015 y. 459 b.
13. A.M.Arifjanov, P.N.Gurina, T.U.Apakxujaeva "Gidravlika", Toshkent, TIQXMMI, 2018g, -171 s.
14. John Fenton "A First Course in Hydraulics", Vienna University of Technology, Austria, 2012u, 120pages.
15. Latipov K.Sh. «Gidravlika, gidromashinalar va gidroyuritmalar»- darslik, Toshkent. O'qituvchi, 1992 y.
16. A. M.Arifjanov «Gidravlikadan masalalar to'plami», Toshkent, 2004y. - 89b.
17. Melvyn Kay, Practical Hydraulics (Taylor & Francis 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN) 2008.-253 pages
18. Philip M. Gerhart Andrew L. Gerhart John I. Hochstein Fundamentals of Fluid Mechanics. ISBN 978-1-119-08070-1 (Binder-Ready Version). USA 2016
19. Joseph B. Franzini, E. John Finnemore Fluid Mechanics with Engineering Applications. ISBN 0-07-021914 1. North America. 1997.

20. Frank M. White Fluid Mechanics. ISBN 978-0-07-339827-3. USA 2011

21. P. Novak, V. Guinot, A. Jeffrey and D. E. Reeve Hydraulic Modelling – an Introduction. ISBN13: 978-0-203-86162-2 (ebk). New York, NY 10016, USA. 2010

MUNDARIJA

Soʻz boshi	3
Kirish	4
Birinchi qism Gidravlika.	6
1-boʻlim. Suyuqliklarning asosiy fizik xossalari	6
1.1 Suyuqlik nima?	6
1.2 Suyuqliklarga taʼsir qiluvchi asosiy kuchlar	6
1.3 Suyuqliklarning asosiy fizik xossalari	7
1.4 Qovushqoqlik (yopishqoqlik)	10
1.5 Sirt tarangligi (kapillyarlik)	13
1.6 Suyuqlik toʻyingan bugʻining bosimi	14
1.7 Gazlarning suyuqlikda erishi. Kavitatsiya hodisasi haqida tushuncha	15
1.8 Ideal suyuqlik modeli	15
1.9 Nyuton qonuniga boʻysunmaydigan suyuqliklar	16
2-boʻlim. Gidrostatika	19
2.1 Suyuqliklarda bosim	19
2.2 Tinch turgan suyuqlikdagi bosimning xossalari	20
2.3 Muvozanatdagi suyuqlikning differentsial tenglamasi (Eyler differentsial tenglamasi)	21
2.4 Bosimi teng sirtlar. Erkin sirt	23
2.5 Eyler tenglamasining integrallari	24
2.6 Gidrostatikaning asosiy tenglamasi	25
2.7 Absolyut, manometrik, vakuummetrik va atmosfera bosimlari	26
2.8 Bosim oʻlchash asboblari	27
2.9 Paskal qonuni	31
2.10 Gidrostatik mashinalar	32
2.11 Tekis sirtga taʼsir qiluvchi bosim kuchi	39
2.12 Arximed qonuni	58
2.13 Jismlarning suyuqlikda suzishi. Suzuvchanlik	60
3-boʻlim. Suyuqliklar kinematikasi va dinamikasi asoslari. Suyuqliklarda harakat turlari.	63
3.1 Gidrodinamikaning asosiy masalasi. Harakat turlari	63
3.2 Oqimchali harakat haqida asosiy tushunchalar. Oqim chizigʻi, oqim naychasi va oqimcha. Suyuqlik oqimlari	64
3.3 Oqimning asosiy gidravlik elementlari	66
3.4 Suyuqlikning barqaror harakati uchun uzilmaslik tenglamasi	69
3.5 Ideal suyuqliklar uchun harakat tenglamasi. Suyuqlik harakati uchun Eyler tenglamasi	71
3.6 Real suyuqliklarda ichki kuchlar. Nave-Stoks tenglamasi	74
3.7 Elementar oqimcha uchun Bernulli tenglamasi	78
3.8 Bernulli tenglamasining geometrik, energetik va fizik mazmunlari	82
3.9 Real suyuqliklar elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi	86
3.10 Real suyuqliklar oqimi uchun Bernulli tenglamasi. Koriolis koeffitsiyenti	87
3.11 Real gazlar oqimi uchun Bernulli tenglamasi	88
3.12 Gidravlik va pezometrik qiyaliklar haqida tushuncha	90
3.13 Gidravlik yoʻqotish haqida tushuncha. Gidravlik yoʻqotishning turlari	91
3.14 Tezlik va sarf oʻlchash usullari hamda asboblari	92
4-boʻlim. Suyuqlik harakatining tartiblari va gidrodinamik	98

	o`xshashlik asoslari	
4.1	Suyuqlik harakatining ikki tartibi. Reynolds kritik soni	98
4.2	Gidrodinamik o`xshashlik asoslari. Hidrodinamik hodisalarni modellashtirish	102
	5-bo`lim. Suyuqliklarning laminar harakati	107
5.1	Tezlikning silindirik quvur kesimi bo`yicha taqsimlanishi	107
5.2	Quvur uzunligi bo`yicha bosimning pasayishi (Puazeyl formulasi)	109
5.3	Oqimning boshlang`ich bo`lagi	110
5.4	Tekis va halqasimon tirqishlarda suyuqlikning laminar harakati	111
5.5	Laminar oqimning maxsus turlari (o`zgaruvchan, qovushoqlik, obliteratsiya)	116
	6-bo`lim. Suyuqliklarning turbulent harakati	120
6.1	Suyuqlik turbulent harakatining xususiyatlari	120
6.2	Tezlik va bosim pulsatsiyalari	121
6.3	Tenglashtirilgan tezliklarning kesim bo`yicha taqsimlanishi	122
6.4	Turbulent harakatda urinma kuchlanish	124
6.5	Quvurlarda naporning (bosimning) kamayishi (yoqolishi)	128
6.6	Darsi formulasi va gidravlik ishqalanish koeffitsiyenti (Darsi koeffitsiyenti)	129
6.7	Quvur devorining g`adir-budirligi. Absolyut va nisbiy g`adir-budirlik	131
6.8	Nikuradze va Murin grafiklari	132
6.9	Gidravlik silliq va g`adir-budir quvurlar	134
6.10	Darsi koeffitsiyentini aniqlash uchun formulalar va ularning qo`llanish sohalari	135
6.11	Nosilindrik quvurlardagi harakatlar	137
	7-bo`lim. Mahalliy gidravlik qarshiliklar	140
7.1	Mahalliy qarshilikning asosiy turlari. Mahalliy qarshilik koeffitsiyenti	140
7.2	Reynolds sonining katta qiymatlari uchun mahalliy qarshilik koeffitsiyenti	144
7.3	Quvurning keskin kengayishi (Bord teoremasi)	144
7.4	Diffuzorlar	146
7.5	Quvurlarning torayishi	148
7.6	Tirsaklar	149
7.7	Reynolds sonining kichik qiymatlarida mahalliy qarshilik koeffitsiyenti	150
7.8	Mahalliy gidravlik qarshiliklarda kavitatsiya hodisasi	151
7.9	Kavitatsiyadan amalda foydalanish	152
7.10	Mahalliy qarshiliklarning o`zaro ta'siri	153
	8-bo`lim. Quvurlar gidravlik hisobi	157
8.1	Quvurlar tasnifi	157
8.2	Qisqa quvurlar gidravlik hisobi	158
8.3	Sarf koeffitsientini aniqlash	161
8.4	Pezometrik (P-P) va napor (E-E) chiziqlarini qurish tartibi	161
8.5	Qisqa quvurlarni hisoblashda uchraydigan asosiy masalalar	162
8.6	Sifon, dyuker va nasosning so`ruvchi quvuri gidravlik hisobi	163
	9-bo`lim. Uzun quvurlarning gidravlik hisobi	173
9.1	Uzun quvurlarning gidravlik hisobi	173
9.2	Quvurning iqtisodiy tejimli diametrini topish haqida tushuncha	176
9.3	Quvurlarni ketma-ket va parallel ulash	186

9.4	Murakkab quvurlar	190
9.5	Sarf uzluksiz taqsimlangan quvurlarning gidravlik hisobi	197
9.6	Nasosdan ta'minlanuvchi quvur	203
9.7	Elektrohidravlik o`xshashlik (analogiya) haqida tushuncha	206
	9-bo'lim ikkinchi qism. Suyuqliklarning teshik va naychalardan oqishi	212
9.9.1	Suyuqlikning yupqa devordagi teshikdan o`zgarmas bosimda oqishi	213
9.9.2	Siqilish, tezlik va sarf koeffitsiyentlari	214
9.9.3	Suyuqlikning silindrik naychadan oqishi	217
9.9.4	Turli xil naychalar	218
9.9.5	Suyuqliklarning teshikdan o`zgaruvchan naporda oqishi	221
9.9.6	Oqimcha texnikasi haqida tushuncha	224
	Ikkinchi qism. Gidravlik mashinalar	229
	10-bo'lim. Gidravlik tizimlar haqida umumiy tushunchalar	229
10.1	Nasoslar va gidrodvigatellar	229
10.2	Nasoslarni guruhlash	232
10.3	Dinamik nasoslar va ularning xarakteristikalari	235
10.4	Nasoslarning asosiy parametrlari	237
	11-bo'lim. Kurakli nasoslar nazariyasining asoslari	241
11.1	Markazdan qochma nasoslar	241
11.2	Bir bosqichli markazdan qochma nasosning sxemasi	243
11.3	Nasos va turbinalar uchun Eyler tenglamasi	246
11.4	Nasosning nazariy nabori (bosimi). Kuraklar egriligining bosimga ta`siri	249
11.5	Foydali bosim	250
11.6	Nasosda energiyaning yo`qotilishi. Nasosning foydali ish koeffisienti	251
11.7	Markazdan qochma nasoslarning xarakteristikalari	254
11.8	Nasosni tanlash	256
11.9	Nasoslarni tamg`alash	256
11.10	Nasoslarning o`xshashligi asoslari	257
11.11	Tezyurarlik koeffisiyenti va kurakli nasoslarning turlari	258
	12-bo'lim. Kurakli nasoslarning ekspluatasion hisobi	260
12.1	Nasoslar xarakteristikalarini qayta hisoblashda o`xshashlik formulalaridan foydalanish	260
12.2	Nasos qurilmasi	260
12.3	Nasos ishchi nuqtasini aniqlash	261
12.4	Nasos ishini boshqarish	263
12.5	Nasosni tanlash	263
12.6	Nasoslarni quvurga ulash. nasoslarni ketma-ket va parallel ulash. Nasoslarning parallel ishlashi	264
12.7	Nasoslarning ketma-ket ishlashi	266
	13 bo'lim. Uyurmali va oqimchali nasoslar	268
13.1	Uyurmali nasoslarning sxemasi, ishlash prinsipi, xarakteristikasi, qo'llanish sohalari	268
13.2	Oqimchali nasoslarning sxemasi, ishlash prinsipi va ishlatilish sohalari	270
	14-bo'lim. Hajmiy nasoslar	281
14.1	Hajmiy nasoslar va ularning ishlash prinsipi	281
14.2	Hajmiy nasoslarning umumiy xossalari va ularning klassifikatsiyasi	282

14.3	Hajmiy nasoslar va ularning xarakteristikalar	283
14.4	Hajmiy nasoslarning dinamik nasoslardan farqli tomonlari	284
14.5	Hajmiy nasoslarning asosiy xarakteristikalar	285
14.6	Porshenli va plunjerli nasoslarning tuzilishi hamda ishlatilish sohalari	287
14.7	Hajmiy (porshenli) nasoslar	287
14.8	Porshenli nasoslarning tuzilishi va ishlashi	288
14.9	Indikator diagramma	292
14.10	Porshenli nasoslarning foydali ish koeffitsiyenti	293
14.11	Diafragmali nasoslar	296
	15-bo'lim. Rotorli nasoslar	297
15.1	Rotorli nasoslarning tasnifi, umumiy xossalari va qo'llanilishi	297
15.2	Rotorli nasoslar klassifikatsiyasi	298
15.3	Shesterniyali nasoslar	299
15.3.1	Shesterniyali nasoslarning asosiy xarakteristikalar	300
15.4	Plastinkali (shiberli) nasoslar	301
15.5	Radial-porshenli nasoslar (RPN)	303
15.6	Aksial-porshenli nasoslar (APN)	305
15.7	Rotorli nasoslarni boshqarish	305
	Uchinchi qism	309
	16-bo'lim. Gidrouzatmalar va hajmiy gidroyuritmalar	309
16.1	Gidrodinamik uzatmalarning vazifasi va ishlatilish sohalari	309
16.2	Ishlash prinsipi guruhlanishi	310
	17-bo'lim. Hajmiy gidrouzatmalar.	311
17.1	Hajmiy gidrouzatmalar. Gidrouzamatlarning vazifalari, guruhlanishi, qo'llanish sohasi, afzalligi va kamchiliklari	311
17.2	Hajmiy gidrouzatmaning ishlash prinsipi	312
17.3	Chiqish tezligini drosseli va hajmiy boshqarish	313
17.4	Hajmiy gidrouzatmalarning xarakteristikalar va FIK	316
	Ilovalar	
	Adabiyotlar	

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение.	4
Первая раздел. Гидравлика.	6
1-часть. Основные физические свойства жидкостей	6
1.1 Основные понятия о жидкости	6
1.2 Силы, действующие на жидкость	6
1.3 Основные физические свойства жидкостей	7
1.4 Вязкость	10
1.5 Поверхностное натяжение (капиллярность)	13
1.6 Давление насыщенного пара жидкости	14
1.7 Растворение газов в жидкости. Понятие явления о кавитации	15
1.8 Модель идеальной жидкости	15
1.9 Жидкости, не подчиняющиеся закону Ньютона	16
2-часть. Гидростатика	19
2.1 Давление в жидкостях	19
2.2 Свойства давления жидкости, находящейся в покое	20
2.3 Дифференциальное уравнение равновесия жидкостей (дифференциальное уравнения Эйлера)	21
2.4 Поверхности с одинаковым давлением. Свободная поверхность	23
2.5 Интегралы уравнения Эйлера	24
2.6 Основное уравнение гидростатики	25
2.7 Абсолютное, манометрическое, вакуумметрическое и атмосферное давление.	26
2.8 Приборы для измерения давления	27
2.9 Закон Паскаля	31
2.10 Гидростатические машины	32
2.11 Сила давления, действующая на плоскую поверхность	39
2.12 Закон Архимеда	58
2.13 Плавание тел в жидкостях. Плавание	60
3-часть Основы кинематики и динамики жидкостей. Типы движения в жидкостях	63
3.1 Основная задача гидродинамики. Виды движений	63
3.2 Основные понятия о движении потока. Линия потока, трубка потока и поток. Потoki жидкости	64
3.3 Основные гидравлические элементы протока	66
3.4 Уравнение неразрывности для установившейся движения жидкости	69
3.5 Уравнение движения для идеальных жидкостей. Уравнение Эйлера для движения жидкости	71
3.6 Внутренние силы в реальных жидкостях. Уравнение Навье-Стокса	74
3.7 Уравнение Бернулли для элементарной струйки	78
3.8 Геометрическое, энергетическое и физическое значение уравнения Бернулли.	82
3.9 Уравнение Бернулли для элементарной струйки реальных	86

	жидкостей	
3.10	Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Коэффициент Кориолиса.	87
3.11	Уравнение Бернулли для потока реального газа	88
3.12	Понятие о гидравлических и пьезометрических уклонах	90
3.13	Понятие о гидравлических потерях. Виды гидравлических потерь	91
3.14	Методы и приборы для измерения скорости и расхода	92
	4-часть. Режимы движения жидкости и основы гидродинамического подобия	98
4.1	Два режима движения жидкости. Критическое число Рейнольдса	98
4.2	Основы гидродинамического подобия. Моделирование гидродинамических случаев	102
	5-часть. Ламинарное движение жидкостей	107
5.1	Распределение скорости по сечению цилиндрической трубы	107
5.2	Понижение давления по длине трубы (формула Пуазейля)	109
5.3	Начальный участок потока	110
5.4	Ламинарное движение жидкости в плоских и концентрических отверстиях	111
5.5	Специальные виды ламинарного движения (переменный, вязкость, облитерация)	116
	6-часть. Турбулентное движение жидкостей	120
6.1	Свойства турбулентного движения жидкости	120
6.2	Пульсации скорости и давления	121
6.3	Распределение скоростей по сечению	122
6.4	Касательное напряжение при турбулентном движении	124
6.5	Понижение давления в трубах	128
6.6	Формула Дарси и коэффициент гидравлического трения по длине (коэффициент Дарси)	129
6.7	Шероховатость стенки трубы. Абсолютная и относительная шероховатость	131
6.8	Графики Никурадзе и Мурина	132
6.9	Гидравлически гладкие и шероховатые трубы	134
6.10	Формулы для определения коэффициента Дарси и области их применения	135
6.11	Движение в нецилиндрических трубах	137
	7-часть. Местные гидравлические сопротивления	140
7.1	Основные виды местного сопротивления. Коэффициент местного сопротивления.	140
7.2	Коэффициенты местного сопротивления для больших чисел Рейнольдса	144
7.3	Резкое расширение трубы (теорема Борда)	144
7.4	Диффузоры	146
7.5	Сужение труб	148
7.6	Колено	149
7.7	Коэффициент местного сопротивления при малых значениях чисел Рейнольдса	150

7.8	Кавитация при местных гидравлических сопротивлениях	151
7.9	Использование кавитации в практике	152
7.10	Взаимодействие местных сопротивлений	153
	8-часть. Гидравлический расчет трубопровода	157
8.1	Классификация трубопроводов	157
8.2	Гидравлический расчет коротких трубопроводов	158
8.3	Определение коэффициента расхода	161
8.4	Порядок построения пьезометрической (P-P) и напорной (E-E) линий	161
8.5	Основные типы задач, встречающиеся при расчете коротких трубопроводов	162
8.6	Гидравлический расчет сифона, дюкера и всасывающей трубы насоса	163
	9- часть.. Гидравлический расчет длинномерных труб	173
9.1	Гидравлический расчет длинных трубопроводов	173
9.2	Понятие о экономически наиболее выгодном диаметре трубопровода	176
9.3	Параллельное и последовательное соединение трубопроводов	186
9.4	Сложные трубопроводы	190
9.5	Гидравлический расчет трубопровода при непрерывно распределенном расходе нагрузки	197
9.6	Трубопровод работающий от насоса	203
9.7	Понятие о электрогидравлической аналогии	206
	Раздел 9 - вторая часть. Истечение жидкости из отверстий и насадков	212
9.9.1	Истечение жидкости из отверстий в тонкой стенке при постоянном давлении	213
9.9.2	Коэффициенты сжатия, скорости и расхода	214
9.9.3	Истечение жидкости из цилиндрических насадков	217
9.9.4	Виды насадков	218
9.9.5	Истечение жидкости из отверстий при переменном давлении	221
9.9.6	Понятие о поточной технике	224
	Вторая раздел. Гидромашины	229
	10-часть. Лопастные насосы Общие понятия о гидромашинах	229
10.1	Насосы и гидродвигатели	229
10.2	Классификация насосов	232
10.3	Динамические наносы и их характеристики	235
10.4	Основные параметры насосов	237
	11-часть. Основы теории лопастных насосов	241
11.1	Центробежные насосы	241
11.2	Схема одноступенчатого центробежного насоса	243
11.3	Уравнение Эйлера для насосов и турбин	246
11.4	Теоретическое давление насоса. Влияние кривизны лопастей на давление	249
11.5	Полезное давление	250
11.6	Потери энергии в насосах. Коэффициент полезных работ насосов	251
11.7	Характеристики центробежного насоса	254
11.8	Выбор насоса	256

11.9	Маркировка насосов	256
11.10	Основы подобия насосов	257
11.11	Виды лопастных насосов и коэффициент быстроходности	258
	12-часть. Эксплуатационные расчеты лопастных насосов	260
12.1	Пересчет характеристик насосов с применением формулы подобия	260
12.2	Насосное устройство	260
12.3	Определение рабочей точки насоса	261
12.4	Управление работой насоса	263
12.5	Выбор насоса	263
12.6	Соединение насосов к трубопроводу. Последовательно и параллельное соединение насосов. Параллельная работа насоса.	264
12.7	Последовательная работа насосов.	266
	13-часть. Вихревые и струйные насосы	268
13.1	Схема, принцип работы, характеристика и область применения вихревых насосов	268
13.2	Схема, принцип работы и область применения струйных насосов	270
	14-часть. Объемные насосы.	281
14.1	Объемные насосы и их принцип работы	281
14.2	Общие свойства объемных насосов и их классификация	282
14.3	Объемные насосы и их характеристики	283
14.4	Разница объемных и динамических насосов	284
14.5	Основные характеристики объемных насосов	285
14.6	Область применения и структура поршневого и плунжерного насосов	287
14.7	Объемные (поршневые) насосы	287
14.8	Структура и работа поршневых насосов	288
14.9	Индикаторная диаграмма	292
14.10	Коэффициент полезной работы поршневых насосов	293
14.11	Диафрагмовые насосы	296
	15-часть. Роторные насосы	297
15.1	Классификация роторных насосов, общие характеристики и применение	297
15.2	Классификация роторных насосов	298
15.3	Шестеренчатые насосы	299
15.3.1	Основные характеристики шестеренчатых насосов	300
15.4	Пластинчатые (шиберные) насосы	301
15.5	Радиально-поршневые насосы (РПН)	303
15.6	Аксиально-поршневые насосы (АПН)	305
15.7	Управление роторных насосов	305
	Третья раздел	309
	16-часть. Гидропередачи и объемные гидроприводы	309
16.1	Задачи и область применения гидродинамических передач	309
16.2	Классификация и принцип работы	310
	17-часть. Объемные гидропередачи.	311
17.1	Объемные гидропередачи. Задачи, классификация, область применения, преимущества и недостатки гидропередач.	311

17.2	Принцип работы объемных гидropередач	312
17.3	Дроссельное и объемное регулирования скорости выхода	313
17.4	КПД и характеристики объемных гидropередач	316
	Приложение	
	Литературы	

THE MAINTENANCE

Preface	3
Introduction	4
Part 1. Hydraulics	6
1. Basic properties of liquids	6
1.1 Basic concepts of fluid	6
1.2 Forces acting on liquids	6
1.3 Physical properties of liquids	7
1.4 Friction force in liquids Newton's law. Viscosity	10
1.5 Surface tension (capillary)	13
1.6 Liquid saturated vapor pressure	14
1.7 Dissolution of gases in a liquid. Understanding the phenomenon of cavitation	15
1.8 Ideal fluid model	15
1.9 Fluids that do not obey Newton's law	16
Part 2. Hydrostatics	19
2.1 Pressure in liquids	19
2.2 Properties of pressure in a stationary liquid	20
2.3 Euler differential equation of fluid equilibrium	21
2.4 Surfaces with equal pressure. Free surface	23
2.5 Integrals of Euler's equation	24
2.6 Basic equations of hydrostatics	25
2.7 Absolute, manometric, vacuummetric and atmospheric pressures.	26
2.8 Pressure gauges	27
2.9 Pascal's law	31
2.10 Hydrostatic machines	32
2.11 Pressure acting on a flat surface	39
2.12 Archimedes' law	58
2.13 Flotation of bodies in liquids. Floating	60
Part 3. Fundamentals of kinematics and dynamics of fluids. Types of motion in liquids	63
3.1 The main problem of hydrodynamics. Types of action	63
3.2 Basic concepts of flow movement. Flow line, flow tube and flow. Fluid flows	64
3.3 Basic hydraulic elements of flow	66
3.4 Continuity Equation for Stable Fluid Fluid	69
3.5 Equation of motion for ideal fluids. Euler's equation for fluid motion	71
3.6 Internal forces in real fluids. Nave-Stokes equation	74
3.7 Bernoulli's equation for elementary current	78
3.8 Geometric, energy and physical content of Bernoulli's equation	82
3.9 Bernoulli's equation for the elementary flow of real liquids	86
3.10 Bernoulli's equation for real fluid flow. Coriolis coefficient	87
3.11 Bernoulli's equation for real gas flow	88
3.12 The concept of hydraulic and pesometric slopes	90
3.13 The concept of hydraulic losses. Types of hydraulic losses	91
3.14 Methods and instruments for measuring speed and flow	92

	Part 4. Modes of fluid motion and the basis of hydrodynamic similarity	98
4.1	Two modes of fluid motion. Reynolds critical number	98
4.2	Fundamentals of hydrodynamic similarity. Modeling of hydrodynamic phenomena	102
	Part 5. Laminar motion of liquids	107
5.1	Velocity distribution across a cylindrical pipe section	107
5.2	Pressure drop along the length of the pipe (Poiseuille formula)	109
5.3	The initial part of the stream	110
5.4	Laminar motion of a fluid in plane and annular cracks	111
5.5	Special types of laminar flow (variable, viscosity, obliteration)	116
	Part 6. Turbulent motion of liquids	120
6.1	Properties of fluid turbulent motion	120
6.2	Speed and pressure pulsations	121
6.3	Sectional distribution of equalized velocities	122
6.4	Exercise voltage in turbulent motion	124
6.5	Pressure drop in pipes	128
6.6	Course formula and coefficient of friction loss along the length (Course coefficient)	129
6.7	The roughness of the pipe wall. Absolute and relative ambiguity	131
6.8	Nikuradze and Murin graphs	132
6.9	Hydraulic smooth and rough pipes	134
6.10	Formulas for determining the coefficient of the course and their areas of application	135
6.11	Movements in non-cylindrical tubes	137
	Part 7. Local hydraulic resistance	140
7.1	The main types of local resistance. Local resistance coefficient	140
7.2	Local resistance coefficients for large values of Reynolds numbers	144
7.3	Sudden expansion of a pipe (Bord's theorem)	144
7.4	Diffusers	146
7.5	Narrowing of pipes	148
7.6	Elbows	149
7.7	The coefficient of local resistance at small values of the Reynolds number	150
7.8	Cavitation phenomenon at local hydraulic resistances	151
7.9	Practical use of cavitation	152
7.10	Interaction of local resistance	153
	Part 8. Hydraulic calculation of pipelines	157
8.1	Pipeline classification	157
8.2	Hydraulic calculation of short pipelines	158
8.3	Determination of the flow rate	161
8.4	Order of construction of piezometric (P-P) and pressure (E-E) lines	161
8.5	The main types of problems encountered in the calculation of short pipelines	162
8.6	Hydraulic calculation of the siphon, siphon and suction pipe of the pump	163
	Part 9. Hydraulic calculation of long pipelines	173
9.1	Hydraulic calculation of long pipelines	173
9.2	The concept of the most economical pipeline diameter	176

9.3	Parallel and series connection of pipelines	186
9.4	Complex pipelines	190
9.5	Hydraulic calculation of the pipeline with a continuously distributed load flow	197
9.6	Pipeline powered by a pump	203
9.7	The concept of electrohydraulic analogy	206
	Part 9. Output from holes and nozzles	212
9.9.1	Fluid outflow from holes in a thin wall at constant pressure	213
9.9.2	Compression, speed and flow ratios	214
9.9.3	Outflow of liquid from cylindrical nozzles	217
9.9.4	Types of nozzles	218
9.9.5	Outflow of liquid from holes at variable pressure	221
9.9.6	The concept of flow technology	224
	Second section. Hydromachines	229
	10-part. Vane pumps General concepts of hydraulic machines	229
10.1	Pumps and hydraulic motors	229
10.2	Pump classification	232
10.3	Dynamic sediment and their characteristics	235
10.4	The main parameters of the pumps	237
	11-part. Vane Pump Theory Fundamentals	241
11.1	Centrifugal pumps	241
11.2	Single-stage centrifugal pump diagram	243
11.3	Euler's equation for pumps and turbines	246
11.4	Theoretical pump pressure. Influence of blade curvature on pressure	249
11.5	Useful pressure	250
11.6	Energy losses in pumps. Pump efficiency factor	251
11.7	Centrifugal Pump Features	254
11.8	Pump selection	256
11.9	Pump marking	256
11.10	Basics of pump similarity	257
11.11	Types of vane pumps and speed factor	258
	12-part. Operational calculations for vane pumps	260
12.1	Conversion of pump characteristics using the similarity formula	260
12.2	Pumping device	260
12.3	Determining the pump duty point	261
12.4	Pump control	263
12.5	Pump selection	263
12.6	Connection of pumps to the pipeline. Series and parallel connection of pumps. Parallel pump operation.	264
12.7	Sequential operation of pumps.	266
	13-part. Vortex and jet pumps	268
13.1	Scheme, principle of operation, characteristics and scope of vortex pumps	268
13.2	Scheme, principle of operation and scope of jet pumps	270
	14-part. Positive displacement pumps.	281
14.1	Positive displacement pumps and their principle of operation	281
14.2	General properties of positive displacement pumps and their	282

	classification	
14.3	Positive displacement pumps and their characteristics	283
14.4	The difference between positive displacement and dynamic pumps	284
14.5	Main characteristics of positive displacement pumps	285
14.6	Scope and structure of piston and plunger pumps	287
14.7	Positive displacement (piston) pumps	287
14.8	Structure and operation of piston pumps	288
14.9	Indicator diagram	292
14.10	Efficiency of piston pumps	293
14.11	Diaphragm Pumps	296
	15-part. Rotary pumps	297
15.1	Rotary lobe pump classification, general characteristics and application	297
15.2	Rotary pump classification	298
15.3	Gear pumps	299
15.3.1	Main characteristics of gear pumps	300
15.4	Vane (vane) pumps	301
15.5	Radial piston pumps (RPN)	303
15.6	Axial piston pumps (APN)	305
15.7	Rotary pump control	305
	Third section	309
	16-part. Hydraulic transmissions and volumetric hydraulic drives	309
16.1	Tasks and field of application of hydrodynamic transmissions	309
16.2	Classification and working principle	310
	17-part. Volumetric hydraulic transmission.	311
17.1	Volumetric hydraulic transmission. Tasks, classification, scope, advantages and disadvantages of hydraulic transmissions.	311
17.2	The principle of operation of volumetric hydraulic transmission	312
17.3	Throttle and volumetric regulation of output speed	313
17.4	Efficiency and characteristics of volumetric hydraulic transmission	316
	Application	
	Literature	