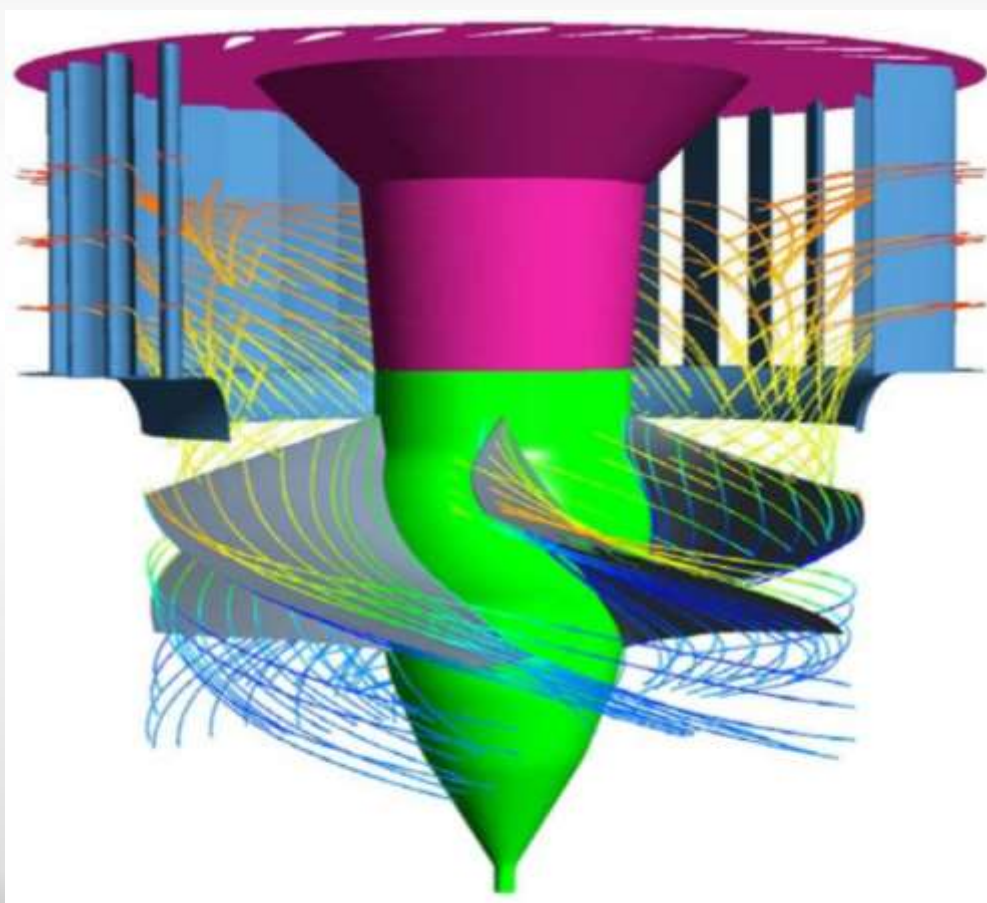


**D.R. BAZAROV
B.R. URALOV
E.K. KAN
S.Q. XIDIROV
F..K ARTIKBEKOVA**

GIDROMASHINALAR



**TOSHKENT
2021**



D.R. Bazarov, B.R. Uralov, E.K. Kan
S.Q. Xidirov, F..K Artikbekova
/ GIDROMASHINALAR /
Darslik

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

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

**BAZAROV DILSHOD RAYIMOVICH
URALOV BAXTIYOR RAXMATULLAYEVICH
KAN EDUARD KLIMENTIYEVICH
XIDIROV SAN'ATJON QO'CHQOROVICH
ARTIKBEKOVA FOTIMA KUCHKAROVNA**

GIDROMASHINALAR

/ DARSLIK /

**Ushbu o'quv qo'llanma 5450600-"Irrigatsiya tizimlarida gidroenergetika
ob'ektlari" bakalavriat ta'lim yo'nalishida taxsil olayotgan talabalar
uchun mo'ljallangan**

**Toshkent
2021**

OO'MTVning 01.03.2021 y. № 110 sonli buyrug'iga asosan chop etishga tavsiya etilgan.

Ro'yxatga olish raqami: 110-433

UDK 621.224.24

Darslik «Gidravlika», «Gidromashinalar» fanlari dasturlariga mos bo'lib, unda gidromashinalarning gidravlika asoslari, ularning asosiy elementlari, vazifasi, konstruksiyalari, turlari, markirovkasi, ularni xisoblash va loyihalash asoslari, parametrlarini hisoblash, ularning xarakteristikalarini qurish tartibi va qoidalari to'g'risida nazariy va amaliy ma'lumotlar berilgan.

Darslik 5450600 - Irrigatsiya tizimlarida gidroenergetika ob'ektlari ta'lim yo'nalishi o'quv rejalariga mos ravishda yozilgan bo'lib, shu yo'nalishdagi bakalavriatura va magistratura talailbalari, doktorantlar, mustaqil ilmiy tadqiqotchilar hamda shu sohadagi mutaxassislar uchun tayyorlangan.

Taqrizchilar: TAQI, «Gidrotexnika inshootlari, zamin va poydevorlar» kafedrası , t.f.d., prof. **Fayziev X.**

TIQXMMI, «Gidrotexnika inshootlari va muhandislik konstruksiyalari» kafedrası , t.f.n., dots. **Raxmatov N.**

Bazarov D.R., Uralov B.R., Kan E.K., Xidirov S.Q., Artikbekova F.K.
/ GIDROMASHINALAR. /
DARSLIK. -T.: TIQXMMI, 2021. 486 bet.

©. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti (TIQXMMI), 2021 y.

KIRISH

O'zbekistonda 4,3 mln.ga ga yaqin maydonda sug'orma dehqonchilik rivojlangan bo'lib, ushbu erlarda jami etishtirilayotgan qishloq xo'jalik mahsulotlarining 95 foizidan ortiqrog'i etishtiriladi. Qurg'oqchil mintaqalarda joylashgan respublikamizning turli xil tabiiy-xo'jalik sharoitlariga ega bo'lgan va hozirgi suv taqchilligi kuchayib borayotgan hududlarida 2,5 mln.ga. dan oshiq maydonda suvni nasos agregatlari va nasos stansiyalari orqali ko'tarib sug'orish amalga oshiriladi. O'zbekiston gidroenergetikasi rivoji 2010-2020 yillar mobaynida kichik daryolar va suv xo'jaligi ob'ektlari (sug'orish kanallari, suv omborlari) gidroenergetik potensialidan foydalanish bazasida amalga oshirilishi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Maxkamasi Qarorida (№ 476, 28.12.95 y.) ta'kidlangan.

Suv manbalaridan yuqorida joylashgan erlarni sug'orish, ichimlik suvi bilan ta'minlash va iflos suvlarni chiqarib tashlash uchun qadim zamonlardan odamlar suvni har xil usullar bilan yuqoriga ko'targanlar. Eramizdan avvalgi 3 minginchi yillarda ham oddiy suv ko'tarish inshootlari bo'lganligi haqida ma'lumotlar bor. Masalan, Nil daryosining suv sathi tushib ketganda misrliklar idishlarda bir – biriga uzatib suvni yuqoriga ko'targanlar. Keyinchalik ular har xil suv ko'tarish g'ildiraklari va Arximed vintidan foydalanganlar. IX asrdan boshlab Xitoy, Hindiston, Misr va Markaziy Osiyo davlatlarida suvni yuqoriga ko'tarish uchun uy hayvonlari yoki odam kuchi bilan harakatga keltiriluvchi moslama – chig'irlardan va oqar suv yordamida harakatga keluvchi charxpalaklardan foydalanganlar. Bunday oddiy moslamalar hozirgi kunda ham ishlatilmoqda.

Suv ko'tarish uchun birinchi porshenli nasoslar XII asrda Novgorod shahrida yaratilgan. 1519 yili, Pskov Kremlini, 1631 yili esa Moskva Kremlini suv bilan ta'minlash uchun suv minoralariga suv uzatuvchi porshenli nasos stansiyalari qurilgan. Porshenli nasoslardan so'ng, unumdorligi katta bo'lgan markazdan qochma va o'qiy nasoslarning yaratilishi, suvni yuqoriga ko'tarish ishlarini jadallashtirib yubordi. Markaziy Osiyoda keng qo'llanilgan chig'irlar o'rniga zamonaviy nasos stansiyalari qurila boshlanadi.

Gidroenergetikani rivojlantirish rejasiga asosan turli quvvatdagi gidroelektrostansiyalarni (GES) qurish mamlakatimiz uchun eng istiqbolli yo‘nalish hisoblanadi, chunki ekologik toza gidroenergiyani ishlab chiqish natijasida yildan-yilga narhi oshayotgan neft mahsulotlarini issiqlik elektrostansiyalarida (IES) larda ishlatishda tejashga va atrof-muhit tozaligiga olib keladi. Hozir O‘zbekistonda 44 ta GES va 1693 nasos stansiyalari ekspluatasiya qilinmoqda.

O‘quv qo‘llanmada GES va NS ob’ektlarini loyihalash, qurish va ekspluatasiya qilish, nasos qurilmalarining asosiy ish ko‘rsatkichlari, nasoslarning nazariyasi, turlari va ularning xarakteristikallari, sug‘orish tizimidagi nasos stansiyalarining agregatlarini tanlash, nasos stansiyalarining gidrotexnik qurilmalarini loyihalash, gidravlik turbinalar to‘g‘risida ma’lumotlar va ularni loyihalash hamda GES va nasos stansiyalarining ekspluatasion va texnik-iqtisodiy hisoblarini bajarish uslublari keltirilgan.

Mazkur o‘quv qo‘llanmadan 5450600 - Irrigatsiya tizimlarida gidroenergetika ob’ektlari yo‘nalishida, “Gidravlika” “Qishloq xo‘jaligi gidrotexnik melioratsiyasi”, “Nasos va nasos stansiyalari”, “Nasos stansiyalaridan foydalanish”, “Gidroenergetika qurilmalari” va «Gidroenergetika» fanlari o‘qitiladigan oliy o‘quv yurti mutaxassisliklarining talabalari, magistrlar va ilmiy xodim izlanuvchilar, ushbu yo‘nalishlarda faoliyat ko‘rsatayotgan mutaxassislar, suv xo‘jaligi xodimlari, o‘rta maxsus o‘quv yurtlari o‘qituvchilari ham foydalanishlari mumkin.

O‘quv qo‘llanma haqidagi fikr va mulohazalarini bildirganlarga mualliflar o‘z minnatdorchiliklarini izhor qiladilar. Fikr va mulohazalarni quyidagi manzilga yuborishingizni so‘raymiz:

Toshkent, 100000, Qori-Niyoziy ko‘chasi, 39. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti (TIQXMMI) .

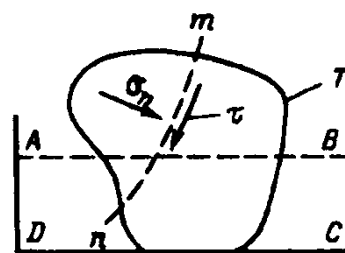
I BOB. SUYUQLIKLARNING ASOSIY XARAKTERISTIKALARI

1.1. SUYUQLIK, UNING ASOSIY FIZIK XOSSALARI VA XUSUSIY HOLATLARI. YOPISHQOQLIK. NYUTON GIPOTYEZASI

Bizga ma'lumki, tabiatda uch xil modda mavjud: qattiq, suyuq va gaz yoki plazma ko'rinishda. Harorat va bosimning o'zgarishi natijasida suyuq jism qattiq yoki gazsimon holatga o'tishi mumkin. Masalan, yuqori bosim ostida suv – muz kristalli holatga o'tadi yoki aksincha, past bosim ostida gazsimon holatni qabul qiladi.

Suyuqlikka quyidagicha ta'rif berish mumkin – tashqi bosim va harorat ta'siri ostida o'z hajmini o'zgartirmaydigan va oquvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan fizik jismga *suyuqlik* deb ataladi.

Suyuqlikni oquvchanlik xususiyatining mohiya-tini tushunish uchun quyidagi hisoblash sxemasidan foydalanamiz (1.1-rasm). T qattiq jismda suyuqlikka botirilgan og'irlik kuchi hisobiga ma'lum kuchlanishlar paydo bo'ladi.



1.1-rasm. Suyuqlik oquvchanligini o'rganish sxemasi

Agar jismda mn ixtiyoriy kesimni oladigan bo'lsak, unda normal kuchlanishdantashqari, urinma kuchlanishlar ham mavjud bo'ladi. Faraz qilaylik, T jism tinch holatda urinma kuchlanish ta'siriga bardosh berolmay, yemirila boshlaydi va idishning ko'rinishini qabul qiladi. Boshqacha qilib aytganda, suyuqlik qattiq jismdan farqli o'laroq, nisbiy tinch holatda turganida urinma kuchlanishga ega bo'lmaydi.

Suyuqliklar tomchi va gazlarga bo'linadi. Gidravlika kursida biz asosan tomchisimon suyuqliklarning qonuniyatlarini o'rganamiz.

Tomchisimon suyuqlik deb, oquvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan va biror idishga quyilganda shu idishni shaklini egallaydigan, amaliy siqilmaydigan fizik moddaga aytiladi.

Suyuqlik qattiq jismlardan molekulalar orasidagi tortishish kuchining juda kichikligi va oquvchanligi (siljuvchanligi) bilan farqlanadi. Shuningdek, suyuqlik, amalda o'z hajmini o'zgartirmaydi, tashqi kuchlar ta'sirida va haroratning o'zgarishi bilan sezilmas darajada o'zgaradi. Gazlar ham oquvchanlik xususiyatiga ega bo'lish bilan bir qatorda, o'z hajmlarini tashqi kuchlar ta'sirida o'zgartiradilar. Tomchili suyuqliklarga – suv, benzin, kerosin, spirt va boshqalar kiradi.

Kursimiz davomida asosan “*suyuqlik*” deganda, melioratsiya va gidrotexnika sohalarini qamrab olgan suv nazardaa to'atiladi. Suyuqliklar – ma'lum fizik xususiyatlari bilan bir-biridan farqlanadi. Bo'lardan, Gidravlika fanini o'rganishda asosiylari quyidagilar xisoblanadi:

Suyuqlikning zichligi deb, hajm birligidagi suyuqlik massasiga yoki suyuqlik massasining uning hajmiga bo'lgan nisbatiga aytiladi.

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

bunda, M – suyuqlik massasi;

V – suyuqlik hajmi;

ρ – zichlik.

$$M = \rho V. \quad (1.1')$$

Solishtirma og'irlik:

$$\gamma = \frac{G}{V}. \quad (1.2)$$

Hajm birligidagi suyuqlik og'irligiga yoki suyuqlik og'irligini uning hajmiga bo'lgan nisbatiga *solishtirma og'irlik* yoki *hajm og'irligi* deb ataladi (1.2) dan

$$G = \gamma V. \quad (1.2')$$

Bizga ma'lumki,

$$G = Mg, \quad (1.3)$$

bunda, g – jismlarning erkin tushish tezlanishi.

(1.3) ni (1.1') va (1.2') ga qo'ysak,

$$\gamma V = \rho g V. \quad (1.4)$$

Bundan quyidagi ifodaga ega bo'lishimiz mumkin:

$$\boxed{\rho = \frac{\gamma}{g}; \gamma = \rho g.} \quad (1.5)$$

ρ va γ o'lchov birliklari:

$$\rho = \left[\frac{M^3}{L} \right]; \gamma = \left[\frac{F}{L^3} \right] = \left[\frac{M}{T^2 L^2} \right] \quad (1.6)$$

bunda, M, L, F, T – masca, uzunlik, kuch va vaqt.

$$M \rightarrow kg = \frac{Hs^2}{m}; L \rightarrow m; F \rightarrow H; T \rightarrow s,$$

demak,

$$\gamma = \frac{H}{m^3} = \frac{kg}{m^2 s^2}.$$

Toza distillangan suv zichligining haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi

1.1 -jadval

$t, ^\circ C$	$\rho, kg/m^3$	$t, ^\circ C$	$\rho, kg/m^3$	$t, ^\circ C$	$\rho, kg/m^3$
0	999, 87	8	999, 88	40	992, 2
2	999, 97	10	999, 70	60	983, 2
4	1000,00	20	998, 20	100	958, 4
6	999, 97	30	995, 70		

Siqiluvchanlik– suyuqliklarning tashqi kuchlar ta'sirida hajmining kamayishidir. Bu holat siqiluvchanlik koeffitsienti, $\beta_s (m^2/N)$ bilan belgilanadi.

$$\beta_c = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp}, \quad (1.7)$$

formuladagi minus hajm bosimining ortishi bilan suyuqlik xajmining kamayishini ko'rsatadi.

Suyuqlik massasi o'zgarmagan holda,

$$\beta_c = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dp}. \quad (1.8)$$

Hajmiy siqiluvchanlik koeffitsienti β_c teskari qiymati suyuqliklarning elastiklik moduli – Ye_j harfi bilan belgilanadi.

$$E_{\omega c} = \frac{1}{\beta_c}. \quad (1.9)$$

(1.8) formulani hisobga olsak, (1.9) ifoda quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$E_{\omega c} = \rho \frac{dp}{d\rho}. \quad (1.10)$$

bundan,

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dp}{E_{\omega c}} \quad (1.11)$$

(1.10) ifoda Guk qonunini ifodalaydi va u harorat 0^0 dan 20^0 gacha va bosim 20 atmosfera bo‘lganda chuchuk suv (distillangan suv) ning o‘rtacha hajm siqilish koeffitsientiga teng. Suyuqliklarning siqilish imkoniyati juda kichik bo‘lganligi sababli, gidravlikaning amaliy masalalari yechilganda ular hisobga olinmaydi va ularni amalda siqilmaydigan deb qaraladi.

Suyuqliklarning yopishqoqligi deb, suyuqlik bir qatlamini ikkinchi qatlamiga nisbatan siljiganda ko‘rsatadigan qarshilikka aytiladi. Yoki suyuqlik harakatida qatlamlar orasida harakatga qarshilik qiluvchi kuchga aytiladi bu kuch *ishqalanish kuchi* deb ataladi.

Bu kuchning kattaligini 1687 yilda I.Nyuton quyidagi gipoteza bilan ta’riflagan suyuqlik qatlamlari harakat davomida ishqalanganda ichki ishqalanish kuchi uning fizik xarakteristikasiga, ishqalanish yuzasiga va tezlik gradientiga to‘g‘ri proporsional, ya’ni quyidagiga teng:

$$T = \mu \omega \frac{du}{dn} \quad (1.12)$$

bunda, T – qatlamlar oralig‘idagi ishqalanish kuchi;

ω – qatlamning ishqalanish yuzasi;

dn – cheksiz yaqin qatlamlar orasidagi masofa;

du – qaralayotgan qatlamlarning tezliklari farqi;

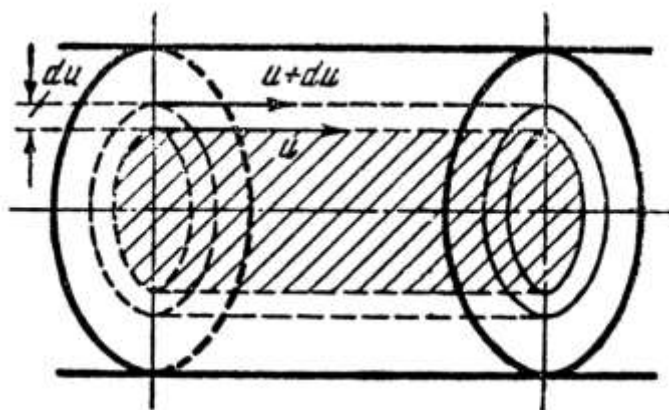
$\frac{du}{dn}$ – tezlik gradienti, bu kattalik dn elementar kesmaning oqim o‘qi bilan

tashkil etgan to‘g‘ri burchakning buralishidagi burchak tezligi sifatida qaraladi;

μ – dinamik yopishqoqlik koeffitsienti (keyingi mavzularda bu kattalik η harfi bilan ham belgilangan).

Dinamik yopishqoqlik koeffitsienti harorat o‘zgarmas bo‘lganda, amaliy jihatdan tezlik gradientiga bog‘liq bo‘lmagan ma’lum kattalikka ega bo‘ladi. Bu bog‘liqsizlik tezlik gradientining $0,05-5 \cdot 10^3 \frac{M/c}{M}$ qiymatlarida tekshirilgan.

Oradan qariyb 100 yil vaqt o‘tgandan keyin Kulon (1736-1806 yillar) va yog‘lanishning gidrodinamik asoschisi rus olimi N.P.Petrovlar (1876-1920 yillar) tajribalar asosida yillarda Nyuton gipotezasini tasdiqlashdi.



1.2-rasm

Bu gipotezaning to'g'riligi Xagen va Puazeyl tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlarda ham isbotlangan. Ta'kidlash joizki, Puazeyl inson organizimida qon aylanishi qonuniyatlarini o'rgangan bo'lsada, tadqiqot ob'ekti sifatida suvdan foydalangan. Xagen va Puazeyl asosan suyuqlik sarfi, radius, yopishqoqlik va bosim gradienti o'rtalaridagi bog'liqlikni aniqlashgan.

(1.12) formuladan dinamik yopishqoqlik koeffitsienti μ quyidagicha aniqlanadi.

$$\mu = \frac{T}{\frac{\omega_{uu}}{du} = \frac{\tau}{\frac{dn}{dn}}} \quad (1.13)$$

$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dn}$$

bunda, τ – urinma kuchlanishi deb atalib, $\frac{kg}{m^2}$ o'lchov birligida o'lchanadi va birlik yuzada paydo bo'ladigan ishqalanish kuchini xarakterlaydi.

Urinma kuchlanish – ustma-ust qatlamlar oralig'ida paydo bo'lib, du tezliklar farqiga to'g'ri proporsional, dn masofaga esa teskari proporsional. Bu kattalik doimo musbat bo'lishi kerak, shu sababli, tezlik gradientining ishorasiga qarab, musbat yoki manfiy ishoralar qo'yiladi. Agar gradient musbat bo'lsa, ifoda oldiga musbat ishorasi, manfiy bo'lsa, manfiy ishorasi qo'yiladi. Bu ishoralar tezliklarning o'zgarish qonuniyatiga va dn masofanini hisobga olishdagi yo'nalishning tanlanishiga bog'liq.

Ishqalanish kuchining yo'nalishi qanday sirtga qo'yilganligiga bog'liq.

1.2-rasmda shtrixlangan tsilindrning yon sirtlariga ta'sir qiluvchi suyuqlikning ishqalanish kuchi tezlik taqsimlanishi rasmdagidek bo'lgan holatda harakatga teskari yo'nalgan bo'ladi. Silindrdagi suyuqlikning tsilindrga ta'siri o'rganilganda esa ishqalanish kuchi kattaligi o'zgarmasdan qolib, yo'nalish harakat tomonga bo'ladi.

μ – o'lchov birligi quyidagicha:

$$\mu = \frac{M}{LT}; \frac{Hc}{m^2} \text{ yoki } \frac{g}{sm \cdot s} = puaz$$

$$1 \text{ Pz} = 1 \text{ g/sm} \cdot \text{s}. \text{ XBS da } \Pi a \cdot \text{s}, 1 \Pi a \cdot \text{s} = 10 \Pi \text{z}$$

Har xil haroratdagi suv uchun μ qiymatlari

1.2-jadval

t, °C	0	10	20	30
$\mu, 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{s}$	17, 92	13, 04	10, 10	8, 00

Gidravlika fanini o'rganishda dinamik yopishqoqlik koeffitsienti bilan bir qatorda *kinematik yopishqoqlik koeffitsientidan* ham foydalaniladi:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.14)$$

Bu kattalik o'zida uzunlik, vaqt, kinematik qiymatlarni mujassamlashtiradi.

Uning o'lchov birligi: $[\nu] = \frac{L^2}{T}; \frac{m^2}{s}; \frac{sm^2}{s} = \text{stoks}$.

Amaliy tajribalar ko'rsatishicha, suyuqlikning yopishqoqligi – suyuqlik turiga va uning haroratiga bog'liq. Harorat ko'tarilishi bilan suyuqliklarning yopishqoqligi kamayadi. Suyuqliklarning kinematik yopishqoqlik koeffitsienti quyidagi jadvallarda keltirilgan.

1.3-jadval

t, °C	$\nu, 10^{-4} m^2 / s$	t, °C	$\nu, 10^{-4} m^2 / s$
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
12	0,0124	45	0,0060
14	0,0118	50	0,0055
16	0,0112	60	0,0048

1.4-jadval

Suyuqlik	t, °C	$\nu, 10^{-4} m^2 / s$	Suyuqlik	t, °C	$\nu, 10^{-4} m^2 / s$
Havo	0	0,133	AMG-10 moyi	50	0,10
Sifatli sut	20	0,0174	Neft:		
Kerosin	15	0,027	engil	18	0,25
Mazut	18	20,0	og'ir	18	1,40
Suvsiz glitserin	20	11,89	Simob	15	0,0011

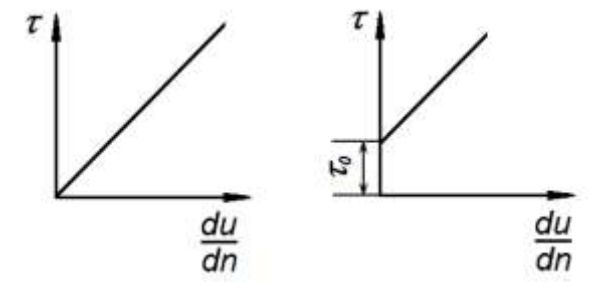
Suyuqliklarning yopishqoqlik koeffitsienti viskozimetr asbobi yordamida o'lchanadi.

Nyuton qonuniyati o'rinli bo'lgan suyuqliklar *Nyuton suyuqligi* deb yuritiladi. Lekin amaliyotda polimer aralashmasi, kolloid suspenziyalar, tuproqli quyqalar, beton aralashmalari, qurilish aralashmalari, chorvachilikdagi ozuqa aralashmalari kabi urinma kuchlanishlari bilan tezlik gradienti o'rtasidagi bog'liqlik boshqa munosabatda ifodalanuvchi suyuqliklar mavjud bo'ladi. Ular *nonyuton*

suyuqliklar deb yuritiladi. Masalan, bu bog‘liqlik uchun quyidagi munosabat o‘rinli

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dn}$$

bo‘lgan suyuqliklar *vizkoplastik suyuqliklar* deb yuritiladi (1.3-rasm)



1.3-rasm

Suyuqliklarning maydonni uzluksiz to‘la egallash modeli. Biz o‘rganadigan suyuqliklar bir jinsli suyuqliklar bo‘lib, ularni o‘z maydonlarini uzluksiz to‘la egallaydi, deb qaraymiz. Xaqiqatda esa, molekulalar oralig‘i mavjud bo‘lib, uzlukli bo‘lsada, matematik usulda gidromexanikaning murakkab masalalarini yechishda ko‘rsatilgan suyuqliklarning to‘la uzluksiz maydonni egallashi qo‘l keladi. Uzluksiz to‘la maydon lotincha “*continuum*” deb ataladi. Amaliyotda suyuqliklarning uzluksiz maydoni to‘la egallash modeli tasdiqlangan.

Yopishqoqlikni aniqlashda qo‘llaniladigan asosiy viskozimetrlar.

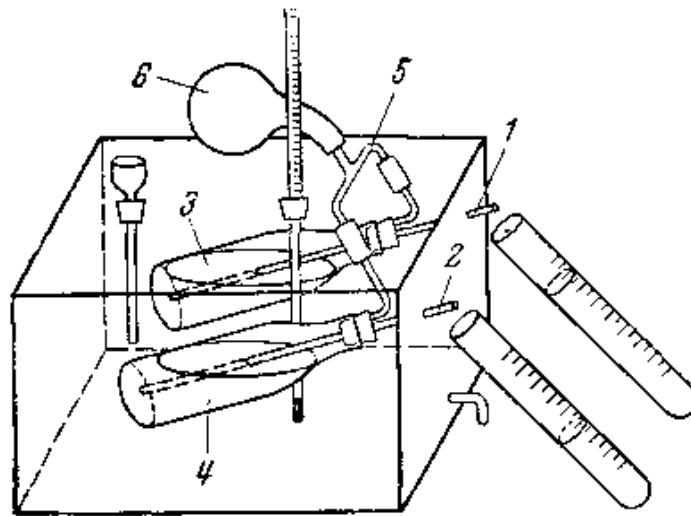
Yuqorida ta’kidlanganidek suyuqlikning asosiy hossalardan biri dinamik va kinematik yopishqoqliklar maxsus asboblarda o‘lchanishi mumkin. Bu asboblarning ishlash printsipiga qarab bir necha ko‘rinishlarda bo‘lishi mumkin. Masalan, Kapillyar, N.Ye.Jukovskiy, ikki koaksial tsilindrlar, diskning tebranishi so‘ninishiga asoslangan Engler viskozimetrlari shular jumlasiga kiradi. Tadqiqot qilinayotgan suyuqlikka ingichka plastinka kiritish orqali ham dinamik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlash mumkin. Bu asboblarning ishlash printsiplari bilan batafsil tanishamiz.

N.Ye.Jukovskiy viskozimetri. Bu viskozimetr ikkita bir xil (l) o‘lcham va diametr (d) ga ega 1 va 2 kapillyar naychadan iborat (1.4-rasm).

Ular 3 va 4 idishlarga joylashtirilgan bo‘lib, ular gorizontall tekislikka nisbatan burchak ostida idishlarga probkalar orqali mustahkamlangan. 3 va 4 idishlar esa uchta chiqishga ega nay orqali 6 havo boshqaruvchi rezinadan yasalgan pufak bilan birlashtirilgan. Bu pufak har ikkala idishda bir xil bosim yaratish imkoniyatini beradi. Bu idishlardan biri dinamik yopishqoqligi noma’lum bo‘lgan tadqiqot qilinayotgan, ikkinchisi esa bu kattalik ma’lum bo‘lgan suyuqlik bilan to‘ldiriladi. Bu suyuqliklar hajmi bir-biriga teng bo‘lishi kerak.

Kerakli haroratga erishish uchun idishlarga termostat yoki suvli banya joylashtiriladi. 3 va 4 idishlardagi bosim 6 pufak orqali o‘zgartirilib, bir vaqtni o‘zida ulardan oqib chiqayotgan suyuqliklarning hajmiy sarf (Q) lari va aniqlanadi. Tartibli, laminar harakatlanayotgan suyuqlikning sarfini aniqlash formulasiga asoslanib, naylar geometrik o‘lchamlari tengligi va vaqt davomida bosim o‘zgarishi (Δp)ni inobatga olib, viskozimetrlarni hisoblash formulasini olamiz:

$$\left(Q = \frac{\Delta p}{128l\mu} \pi d^4 \right)$$



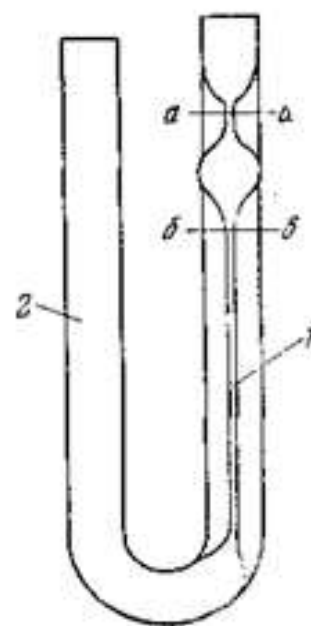
1.4-rasm N.Ye.Jukovskiy viskozimetri sxemasi

Bundan, bizga noma'lum suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koeffitsientini hisoblash imkoniyatiga ega bo'lamiz:

$$\mu_1 = \frac{Q_1}{Q_2} \mu_2$$

Ta'kidlash lozimki, bu viskozimetr ishlash printsipi tadqiqot qilinayotgan va dinamik yopishqoqlik koeffitsienti ma'lum bo'lgan standart suyuqliklarni bir vaqtda tirqishdan chiqayotgan hajmi yoki sarfi kattaliklarini taqqoslashga asoslangan. Xuddi shu printsipda, o'lchov amaliyotida keng qo'llaniladigan Pinkevich, Ostvald, Bingham va boshqa kapillyar viskozimetrlari ishlashini e'tirof etish mumkin.

Kapillyar viskozimetr. Bu asbob oddiy U shaklidagi nay va uning bir tomoniga kavsharlangan 1 kapillyardan iborat (1.5-rasm) . Tadqiqot qilinayotgan suyuqlik 2 nayning keng qismiga quyilib, havoni sekin kamaytirish yo'li bilan suyuqlikni *a-a* kesimgacha ko'tarilishiga erishiladi. Keyin havo so'rilishi to'xtatilib, suyuqlikning o'z og'irligi hisobiga naycha orqali ko'tarilish imkoniyati yaratiladi. Bu ondan boshlab, suyuqlikni *a-a* sathdan toki *b-b* sathgacha pasayish vaqti o'lchanadi. Bu tajriba ikki xil suyuqlik uchun o'tkazilib, biri dinamik yopishqoqlik koeffitsient (μ_1) i noma'lum bo'lgan tadqiqot qilinayotgan ob'ekti bo'lsa, ikkinchisi dinamik yopishqoqlik koeffitsienti (μ_2) ma'lum bo'lgan standart



1.5-rasm. Kapillyar viskozimetr

suyuqlikdir. Bu suyuqliklar uchun hajmiy sarfni hisoblash formulasini yozamiz:

$$\left(Q = qT_1 = \frac{\Delta p_1}{128l\mu_1} \pi d^4 T_1 \right)$$

$$\left(Q = qT_2 = \frac{\Delta p_2}{128l\mu_2} \pi d^4 T_2 \right)$$

Bu formulalarni bir-biriga nisbatidan quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{\left(\frac{\Delta p_1}{\mu_1} T_1 \right)}{\left(\frac{\Delta p_2}{\mu_2} T_2 \right)} = 1$$

bundan,

$$\frac{\mu_1 \Delta p_2 T_2}{\mu_2 \Delta p_1 T_1} = 1$$

Tadqiqot qilinayotgan suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlash formulasini yozamiz:

$$\mu_1 = \frac{\Delta p_2 T_2}{\Delta p_1 T_1} \mu_2$$

Bu formuladagi bosimlar o‘zgarishi munosabati zichliklar munosabati bilan o‘zgartiriladi, chunki kapillyar naychada suyuqlik og‘irlik kuchi ta’siri ostida amalga oshadi. Bu holatni inobatga olib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\mu_1 = \frac{\rho_2 T_2}{\rho_1 T_1} \mu_2$$

bunda, ρ –suyuqliklarning zichligi.

Ikki koaksial tsilindrli viskozimetr. Quyidagi rasmda bunday viskozimetrlar sinfiga kiruvchi asbob tasirlangan.

Bu asbob bir birining ichiga joylashtirilgan qo‘zg‘almas 1 va bitta umumiy o‘q atrofiga aylanuvchi 2 tsilindrlardan iborat. Bu tsilindrlar orasiga tadqiqot qilinayotgan suyuqlik quyiladi. 2 tsilindr rasmda ko‘rsatilgan sxemaga ega 3 baraban orqali yuklar yordamida harakatga keltiriladi. Baraban va 2 tsilindr o‘zaro mustahkamlangan. Aylanishlar soni 4 ko‘rsatkich orqali hisobga olib boriladi. Bu ko‘rsatkich baraban bilan birga harakatlanadi. Tashqi tsilindr vaziyati 5 qisuvchi koltso orqali yuqoriga yoki pastga o‘zgartirilishi mumkin. Bu harakat yordamida 2 tsilindrning ko‘milish vaziyati (L) ni o‘zgartirishimiz mumkin. Bunda moslama tsilindr tubini ta’sirini yo‘qotish imkoniyatini yaratadi. Dinamik yopishqoqlik koeffitsientini quyidagi formula yordamida aniqlash mumkin:

$$\mu = \frac{M T (R_2^2 - R_1^2)}{\rho_1 8\pi^2 R_2^2 R_1^2 L^2}$$

bunda, R_1, R_2 – mos ravishda tashqi 2 va ichki 1 tsilindrlar diametri;

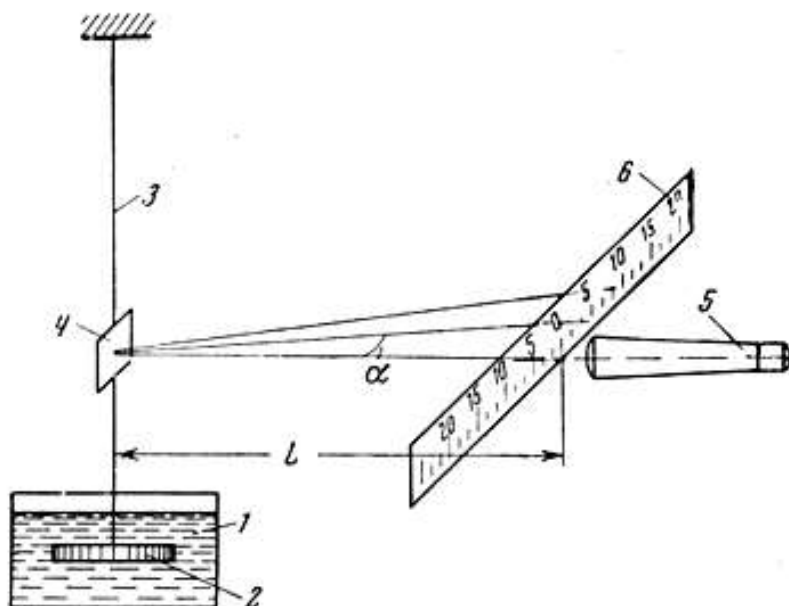
T – vaqt, s; $M = \frac{1}{T}$, $\frac{ayl}{s}$ – tezlikdagi harakatni ta’minlovchi moment;

$M = mgR = GR$, $G = mg$ – yuklarning og‘irligi, g .

$R = R_b + R_i$ – baraban va ip radiuslari.

Diskning tebranib, soʻnishiga asoslangan viskozimetr.

Bunday harakatlanuvchi disk tadqiqot qilinayotgan suyuqlik ichiga joylashtiriladi (1.6-rasm). Bu qurilma oyna 1 idish, 2-disk va disk osiladigan 3 ipdan iborat. Ipning uzunligi maxsus qurilma yordamida oʻzgartirilishi mumkin.



1.6-rasm.

Disk diametri boʻylab maxsus poʻlatdan tayyorlangan sterjen oʻrnatilgan boʻlib, unga magnet yordamida taʼsir koʻrsatib, disk tebranma harakatga keltiriladi. Disk harakati amplitudasi va chastotasi maxsus oyna va lineyka yordamida rasmda koʻrsatilgandek oʻlchab boriladi. Oyna 4 ipda oʻrnatilgan, 5 optik nay va 6 lineyka (L) masofada oʻrnatilgan boʻlib, ipning buralish burchagi (α) ni quyidagi formula yordamida aniqlash imkonini beradi:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{n}{L}$$

bunda, n – lineykadagi boshlangʻich vaziyatdan oʻzgarish. Tebranishlar chastotasi oddiy hisoblash usuli bilan aniqlanadi.

Dinamik yopishqoqlik koeffitsienti quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\mu = \frac{2(\lambda - \lambda_0)^2}{\pi T \rho A^2}$$

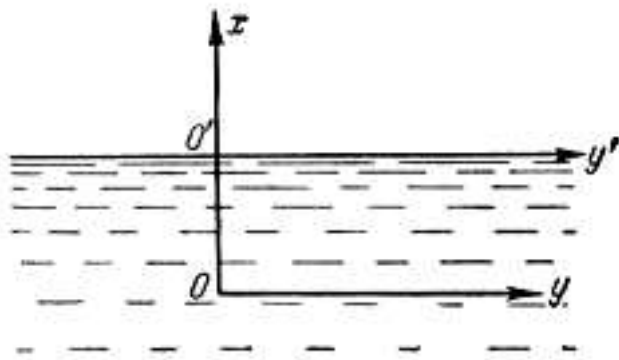
bunda, $\lambda = \ln \frac{a_n}{a_{n-1}}$ – tadqiqot qilinayotgan obʼekt ichida diskning soʻnishi

logarifmik qonuniyati; a_p , va a_{p-1} – ikkita ketma-ket tebranish amplitudasi; λ_0 –

havoda diskning soʻnishi logarifmik qonuniyati; ρ_0 – suyuqlik zichligi; $A = \frac{\pi R^4}{2l}$ –

doimiy; R – disk radiusi; l – aylanish oʻqiga nisbatan oʻqning inersiya momenti.

Tadqiq qilinayotgan suyuqlikka ingichka plastinka kiritish orqali ham dinamik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlash uchun tadqiq qilinayotgan suyuqlik bilan oʻyʻ qoʻzgʻalmas oʻqdan past soha toʻldiriladi (1.7-rasm).



1.7-rasm. Tadqiqot qilinayotgan suyuqlikka ingichka plastinka kiritish orqali dinamik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlash uchun qurilma.

$t=0$ harakat boshlanishida plastinka tadqiqot qilinayotgan suyuqlikka u_0 boshlang'ich tezlik bilan borib uriladi. Harakatlanuvchi koordinataning ordinatasi musbat yo'nalishini plastinka yo'nalishiga mos tushadi deb qabul qilamiz. Quyidagi chegaraviy shartlarni qabul qilamiz:

- plastinka urulgunga qadar suyuqlik tinch holatda bo'ladi, ya'ni $u=0$; $x=0$
- $x>0$; $y=0$; $u=u_0$ shartlar bajarilganda, suyuqlik zarachalari yopisha boshlaydi deb qabul qilinadi;
- ordinata yo'nalishida bosim gradientini inobatga olmasdan, z – o'qi bo'yicha plastinkani nihoyatda keng deb hisoblab, suyuqlik tezligini vertikal tashkil etuvchisi kattaligi ikkinchi hosilasining qiymati shu tezlikning gorizontal tashkil etuvchisining ikkinchi hususiy hosilasiga nisbatan hisobga olinmaydigan darajada kichikligi sababli inobatga olinmasa, qo'zg'almas o'qqa nisbatan suyuqlikning harakat tenglamasini yozish mumkin (ta'kidlash lozimki, ushbu darslikning gidrodinamika bo'limida bu masalalarga batafsil to'xtalamiz). Bu hosil bo'lgan bir o'lchamli differentsial tenglamani qabul qilingan chegaraviy shartlarga asosan yechib, uni integrallab, dinamik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlash formulasini yozamiz:

$$\mu = \frac{9\pi}{16} u_0 \frac{G^2}{\rho g^2} \frac{1}{b^2 \sqrt{H^3}}$$

bunda, N – plastinkaning maksimal chuqurlashishi; b – plastinka kengligi; G – plastinka og'irligi.

Engler viskozimetri amaliyotda kinematik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlashda kengroq qo'llaniladi. Bu asbob asosan ikkita bir-biriga kontsentrik tarzda joylashgan latundan yasalgan 1 va 2 idishlardan iborat (1.8-rasm). 1 idish tubi markaziga 3 naycha kavsharlangan. 1 idish ichki qismida tadqiqot qilinadigan suyuqlik uchun quyilish sathini belgilovchi 4 belgi o'rnatilgan. Naycha 5 sterjen bilan yopiladi. Viskozimetr o'lchamlari standartlashtirilgan. 1 va 2 idishlar oralig'i kerakli haroratni olish uchun suvli banya vazifasini bajaradi. Tadqiqot obekti haroratini aniqlash uchun 6 termometrdan foydalaniladi. Bu viskozimetr yordamida 200 sm^3 suyuqlikning naychadan chiqish vaqti (T) yoki shu vaqtning 200 sm^3 hajmdagi 200°S haroratli suvning oqib chiqish vaqti (T_0) ga nisbati aniqlanadi.

Tadqiqot qilinayotgan suyuqlikning kinematik yopishqoqlik koeffitsienti

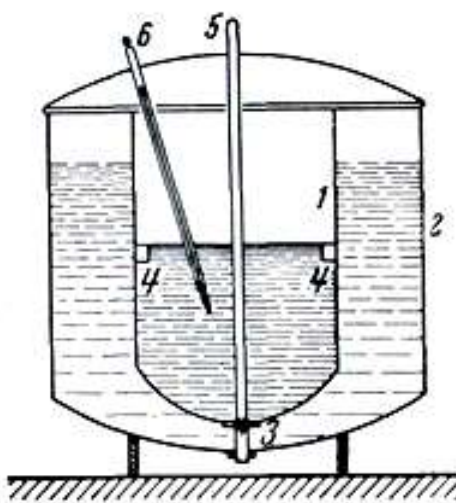
quyida keltirilgan Pomerantsevning nazariy formulalaridan biri orqali aniqlanadi:

$$\nu = 0,0731E - 0,0631 \frac{1}{E};$$

$$\nu = 0,0828E - 0,08332 \frac{1}{E};$$

$$\nu = \frac{1}{11,995} \cdot 10^{-2} \frac{1}{\lg \frac{h_0}{h_1}} T - 3,033(h_0 - h_1) \frac{1}{T}.$$

bunda, $E = \frac{T}{T_0}$ – Engler haroratlari; h_0, h_1 – mos ravishda harakatdan oldingi va harakat tugagandagi idishdagi suyuqlik sathlari; T – sathning pasayishiga mos keluvchi vaqt.



1.8-rasm. Engler viskozimetri

Viskozimetr nazariyasi aniq ishlab chiqilmaganligi sababli o'lchov natijalari bilan ushbu formulalar o'rtasida tafovut mavjudligini alohida ta'kidlash maqsadga muvofiqdir.

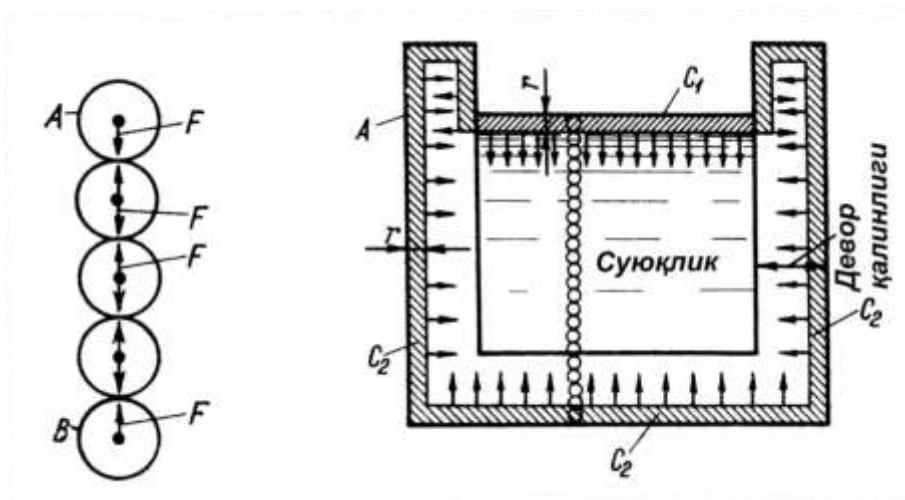
1.2. REAL VA IDEAL SUYUQLIKLAR

Suyuqliklarning harakat qonuniyatlarini o'rganishda yopishqoqlik, ichki ishqalanish kuchlari asosiy rol o'ynaydi. Suyuqliklarning gidrostatik va gidrodinamik qonuniyatlarini, kinematikasini o'rganishda masalaning qo'yilishiga qarab, uning ishtirokidagi jarayonlarni talqin qilishda asosan matematik apparatdan keng foydalaniladi. Ro'y beradigan jarayonni matematik tenglamalar yordamida yozganimizda, jarayonni to'liq tasvirlagan tenglamalar sistemasidagi noma'lum parametrlar soni bilan sistema tarkibidagi tenglamalar soni o'rtasida nomutunosiblik mavjud bo'ladi. Bu tenglamalar sistemasini yechishda uni qulay ko'rinishga keltirish uchun ma'lum cheklanishlar qabul qilinadi. Bunda suyuqliklarning eng asosiy fizik hossalari inobatga olmasdan masalani o'rganishga to'g'ri keladi. Bunday vaziyatlarda gidravlikada ideal va real suyuqliklar tushunchasi kiritiladi.

Ideal suyuqliklar – suyuqliklarning muvozanat va harakat qonuniyatlarini matematik keltirib chiqarishda asosiy omillardan biri hisoblanadi. Xaqiqiy suyuqliklarga tajribaga asosan topilgan koeffitsientlar yoki kuchlanishlarni oʻzgarishini bilgan holda oʻtiladi. Shunday qilib, amaliyot nazariya bilan bogʻlanadi.

Aziz o‘quvchi, Sizga fizika kursidan ma’lumki, suyuqlik bir-biriga ma’lum kuch bilan ta’sir etuvchi molekulalardan iborat.

Agar biz qator ustun shaklidagi shariklar (1.9-rasm) ni o‘zaro F kuch ta’siri ostida joylashgan deb faraz qilsak, eng chetda joylashgan (A va V) shariklardan boshqa hammasi befarq holatda joylashganligini ko‘rishimiz mumkin.



1.10-rasm. Molekulyar bosim.
 S_1 – suyuqlikning molekulyar bosimini
 ko'rsatuvchi sirtqi qatlami

Qo‘shni shar tomonidan har bir sharga ta’sir etuvchi R ikki F kuchlar o‘zaro muvozanatlashadi. A va V shariklarga esa faqat tashqi F kuchlar ta’sir etadi, bundan tashqari bu shariklardan iborat ustun F kuch tomonidan siqiladi.

Bu shartli sxemaga asosan biror bir idishda joylashgan suyuqlik (1.10-rasm) qalinligi r – molekulyar ta'sirga teng bo'lgan S_1 sirtqi qatlami bilan siqilishi kerak. Bunda r radius molekula markazidan tortish kuchi qo'shilish nuqtasigacha bo'lgan masofa bo'lib, nihoyatda kichik kattalikdir. S_1 ingichka suyuqlik qatlami tomonidan suyuqlikka siquvchi kattalik nihoyatda katta kattalik bo'lib, suv uchun bu taxminan 11000 *atm* ga tengligi tajribalar asosida aniqlangan. Bu bosim **molekulyar bosim**

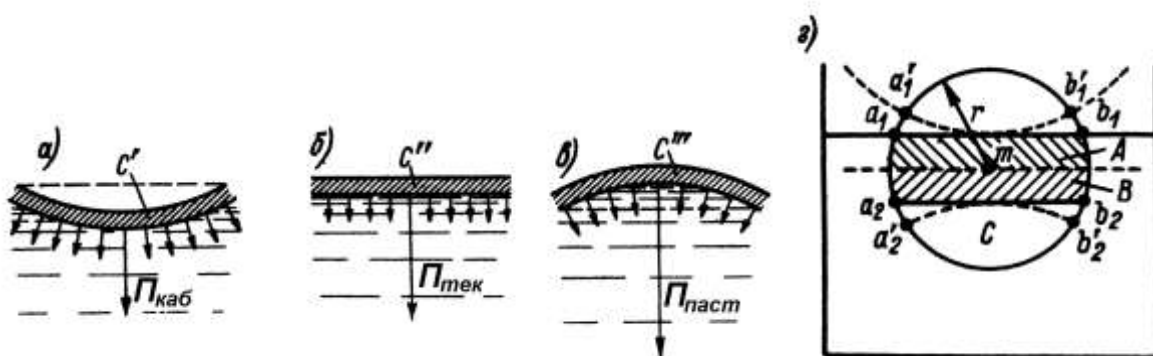
deb ataladi.

Molekulyar bosimga nisbatan tashqi kuchlar ancha kichik bo'lganligi sababli suyuqliklar kamroq siqiladi.

Eng asosiysi biz quyidagi holatga o'z e'tiborimizni qaratishimiz kerak:

- a) S_1 – tashqi suyuqlik qatlamini o'zaro tortishuv kuchi bilan bog'liq A molekulalar to'plami deb qabul qilib (1.9 va 1.10-rasmlar), C' – tekis molekulyar sirt tomonidan paydo bo'ladigan Π_{mek} molekulyar bosimi (suv uchun 11000 atm) (1.11, a-chizma) qabariq C'' sirt qatlam tomonidan paydo bo'ladigan (1.11, b-rasm) Π_{kab} qabariq qatlam molekulyar bosimidan kichik bo'lib, pastki sirtqi bosim C''' (1.11, v-rasm) tomonidan paydo bo'ladigan Π_{nasm} molekulyar bosimdan katta bo'lishligini isbotlash mumkin:

$$\Pi_{nasm} < \Pi_{mek} < \Pi_{kab}$$



1.11-rasm. Turli egrilikdagi tashqi sirt molekulyar bosimi.

$$(\Pi_{kab} > \Pi_{tek} > \Pi_{past})$$

Bu fikr fizika kursida quyidagicha isbotlanadi. $a_1 b_1$ sirt yaqinida joylashgan m molekulasini ko'rib chiqamiz. 1.11, g-rasm) . r – molekulyar radiusda joylashgan boshqa molekulalar, m molekulani o'zlariga tortishadi. Molekulalarni havo tortishini inobatga olmaymiz.

A va V sohalarda joylashgan kuchlarning m molekulaga ta'siri o'zaro muvozanatlashadi, shu sababli m molekula faqat S sohadagi molekulalar ta'sirida tortiladi. S soha tekis sirt holatida $a_2 b_2$ va $a_1 b_1$ gorizontal chiziqlar bilan chegaralangan, qabariq sirt holatida $a_2 b_2$ va $a'_1 b'_1$ gorizontal chiziqlar bilan chegaralangan. S soha yuqoridan $a_2 b_2$ bilan chegaralanganligi sababli, har doim $a'_2 b'_2$ gorizontal chiziq bilan chegaralangan S sohadan katta, demak, $\Pi_{kab} < \Pi_{tek}$, chunki F kuch m molekulani tortuvchi molekulalarni o'z ichiga oluvchi S sohani kattalashishi bilan oshadi. Xuddi shu tarzda fikr yuritib, $\Pi_{tek} < \Pi_{kab}$ ham isbotlaymiz.

- b) Umuman olganda, A idishdagi suyuqlik molekulalarni shu idish molekulalari bilan birgalikda ko'rib chiqish kerak. Shundagina «suyuqlik – idish devori» sistemasi tashqi qatlamlar tomonida tekis siqilishini tushunish mumkin (1.10-rasmda shtrixlangan sirt qatlamlari S_1 suyuqlikniki, S_2 – idish devori materialiniki).

Bundan xulosa qilish mumkinki, qanchalik molekulyar bosim katta

bo'lmasin, u suyuqlik joylashgan idish devorini buza olmaydi. Bu bosim qanchalik katta bo'lmasin u hech qachon biror ko'rinish bilan nazarga tushmaydi va hech qanday asbob bilan o'lchab bo'lmaydi. Shuning uchun suyuqlik ichidagi yoki uning idish devoriga ta'sir etuvchi bosimi haqida fikr yuritganda biz molekulyar bosimni hisobga olmaymiz. Faqat biz bunda bu bosimni mavjud emas deb hisoblab, kapillyarlik masalasini inobatga olishimizga to'g'ri keladi.

1.4. SUYUQLIKNING HUSUSIY HOLATLARI

Bizga ma'lumki, suyuqlik yaxlit bir jism emas, balki bir biriga juda yaqin joylashgan molekulalar majmuasidan iborat fizik jismdir. Lekin ko'pgina gidrodinamik masalalar yechimini topishda u yaxlit bir jinsli jism deb qaraladi. Bundan keyin biz suyuqlikni xuddi shunday jism deb qaraymiz. Biz Siz bilan suyuqlikni o'rganiluvchi ob'ekt sifatida qarab, gidrotexnik amaliyot uchun suvga nisbatan bu holatni o'rganib chiqamiz.

Harorat ta'sirida suyuqlikning kengayishi. Bizga ma'lumki, agar suyuqlikka haroratni ko'tarish yo'li bilan ta'sir etsak, hajmining kengayish jarayonini kuzatamiz. Gidravlikada suyuqlikdagi bu o'zgarish suyuqlikning harorat ta'siridagi kengayish koeffitsienti deb ataluvchi kattalik bilan xarakterlanadi. Birlik hajmdagi suyuqlikning temperaturasi 1°S ga oshirilganda kengaygan miqdori uning hajmiy kengayish koeffitsienti deyiladi va β_{t^0} harfi bilan belgilanib, harorat ta'siri ostida suyuqlikning nisbiy hajm kengayishini harorat o'zgarishiga nisbati bilan aniqlanadi.

$$\beta_{t^0} = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

bunda, $\Delta V = V - V_0$ – qizdirilgandan keyingi va boshlang'ich xajmlar farqi;
 $\Delta t = t - t_0$ – haroratlar farqi.

Bu koeffitsient bosim va haroratning turli qiymatlarida:

suv uchun $\beta_{t^0} = 0,00014 \div 0,00066 \left[\frac{1}{t^0} \right];$

simob uchun $\beta_{t^0} \approx 0,00018 \left[\frac{1}{t^0} \right];$

neft mahsulotlari uchun $\beta_{t^0} = 0,0006 \div 0,0008 \left[\frac{1}{t^0} \right]$ gacha o'zgaradi.

Suyuqlikning cho'zuvchi kuchlanishlarga qarshiligi. Ko'p yillik ilmiy tadqiqotlar natijasiga asoslanib, nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning cho'zuvchi kuchlanishlarga qarshiligi mavjudligi aniqlangan. Masalan, simob ma'lum bir sharoitda $100 \text{ } \kappa\Gamma/\text{cm}^2$ ga teng bo'lgan cho'zuvchi kuchlanish uzilmasdan yaxlit holatini saqlab qolgan.

Odatdagi oddiy holatlarda suyuqlikning cho'zilishi uning tekis taqsimlangan har tomonlama cho'zilishdan farq qiladi, shu sababli unda urinma kuchlanishlar paydo bo'ladi va cho'zuvchi kuchlanishlar ta'sirida suyuqlik oqa boshlaydi.

Buni e'tiborga olgan holda ko'pgina amaliy holatlarda nisbiy tinch holatdagi

suyuqlik cho‘zuvchi kuchlanishlarga qarshilik qilmaydi, deb hisoblanadi.

Harakatdagi suyuqlikning urinma kuchlanishlarga qarshiligi. Biz keyinroq harakatlanayotgan real holatdagi suyuqliklarda ishqalanish kuchlari paydo bo‘lishi haqida batafsil to‘xtalamiz. Bu kuchlar suyuqlik ichida tashqi kuchlar ta’sirida paydo bo‘luvchi ichki urinma kuchlarni muvozanatlashuvini ta’minlaydi.

Bu kuch kattaligi suyuqlik turiga va suyuqlik zarrachalarining nisbiy ko‘chish tezligiga bog‘liqdir. Bu masalaga suyuqlik oqimining o‘rtacha tezligini o‘rganishimiz jarayonida batafsil to‘xtalib o‘tamiz.

1-holat. *Suvni qattiq jism yoki gaz holatiga o‘tishi.*

1. *Suvda kristallsimon muzning paydo bo‘lishi.* Bosimni oshishi yoki haroratni kamayishi natijasida suvda kristallsimon muz paydo bo‘ladi. Ikki fazali sistema paydo bo‘ladi (suv + muz) .
2. *Suvda havo va suv parlari bilan to‘lgan sohalarining paydo bo‘lishi. Qaynash va kavitatsiya.* Ko‘pincha amaliyotda suvda havo aralashgan bo‘ladi. r bosimning kamayishi yoki t^0 haroratning oshishi natijasida havo ajralib chiqib boshlaydi va suvda ajralishlar paydo bo‘ladi. Bu jarayon toki havo bo‘shliqlarini suvning erkin sirti orqali chiqib ketgunga qadar davom etadi.

Endi tarkibida havo bo‘lmagan suvni ko‘rib chiqamiz.

$p_{t,b}$ harfi bilan suv bug‘ining bosimini belgilaymiz va uni to‘yingan bug‘ bosimi deb ataymiz. Bu t^0 haroratga bog‘liq kattalikdir.

$$p_{t,0} = f(t^0) - \text{suv bug‘i uchun}$$

1.5-jadval

$t^0, ^\circ C$	0	25	50	75	100	125	150
$p_{t,b}, kg/sm^2$	0,006	0,032	0,126	0,392	1,032	2,370	4,850

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, bu ikkala kattalik o‘zaro to‘g‘ri proportsional. Faraz qilaylik, bizda t^0 haroratli, r bosimli yaxlit – uzluksiz suyuq fizik jismga egamiz.

Faraz qilaylik, ma’lum sabablarga ko‘ra t^0 harorat osha boshlaydi yoki r bosim kamaya boshlaydi, demak,

$$p < p_{t,b}$$

Tajribalar natijasi ko‘rsatganki, bunday holatlarda suyuqlik ichida to‘yingan bug‘ bilan to‘lgan pufakchalar paydo bo‘la boshlagan. Bunda ikki fazali suyuqlik (suv + bo‘shliq) paydo bo‘lgan, pufakchani yo‘qotish uchun $p > p_{t,b}$ munosabatga erishish kerak. Mana shu suv tarkibida pufakchalar paydo bo‘lishiga qarab, ikki xil jarayon yuz beradi: qaynash va kavitatsiya.

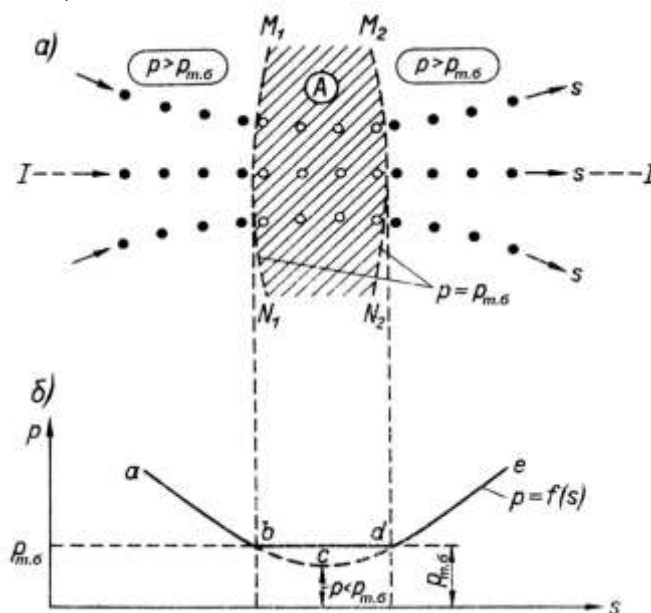
Suyuqlikning qaynashi, to‘yingan bug‘ bilan to‘yingan pufakchalar $p > p_{t,b}$ munosabat bajarilganda paydo bo‘lib, suyuqlik erkin sirti orqali chiqishi hodisasiga aytiladi.

Suyuqlik kavitatsiyasi – shu pufakchalarning harakatlanayotgan suyuqlik ichida yorilishi hodisasiga aytiladi. Pufakchalarning bunday ajralishi quvurlardagi suyuqlikning keskin ochilishi natijasida harakatga kelganda (qarang, Gidravlik zarbga doir mavzular) ham ro‘y beradi. Bu hodisani to‘liqroq tushunish uchun 1-1 chiziq bo‘ylab (1.7, a-rasm) , $abcde$ yo‘nalishida (1.12, b-rasm) oqimni ko‘rib

chiqamiz. A sohada (rasmda shtrixlangan) bosim $p > p_{t.b}$. $M_1 N_1$ va $M_2 N_2$ chiziqlar bu soha chegarasi hisoblanadi. Bu chegaralarning barcha nuqtalarida $p = p_{t.b}$.

$M_1 N_1$ chiziqdan o'tganda pufakchalarlar ochilib, $p < p_{e.b}$ bo'lganligi uchun $M_2 N_2$ chiziqqa borgunchayoriladilar. Garchand A zonada ikki fazali oqim mavjud bo'lsada $M_2 N_2$ chiziqda yaxlit massaga ega bo'lamiz.

Bu hodisa *kavitatsiya hodisasi* deyiladi (*kavitatsiya* – lotinchadan *bo'shliq* degan ma'noni bildiradi).



1.12-rasm. Kavitatsiya hodisasi.
 $M_1 N_1$ – bo'shliqlarning ochilish joyi;
 $M_2 N_2$ – bo'shliqlarning yorilish joyi.

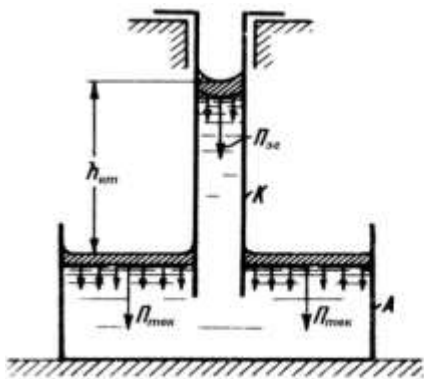
Ko'pincha amaliyotda $M_2 N_2$ chiziqda yuz beradigan jarayonda kuchli zarblar paydo bo'lib, u bosqichma-bosqich qattiq devorni yemira boshlaydi va bu hodisa *kavitatsion eroziya* deb ataladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, A sohada bo'shliqlarni paydo bo'lishi, bu yerda bosimni $p_{b.t}$ kattalikdan kichik qiymatga o'tishiga qarshilik qiladi. Shu sababli *abcde* o'rniga *abde* egrilik ko'rinishida bosim o'zgaradi. Shunga asosan suvdagi bosimning amaliy qiymati $p_{b.t}$ kichik bo'lishi mumkin emas.

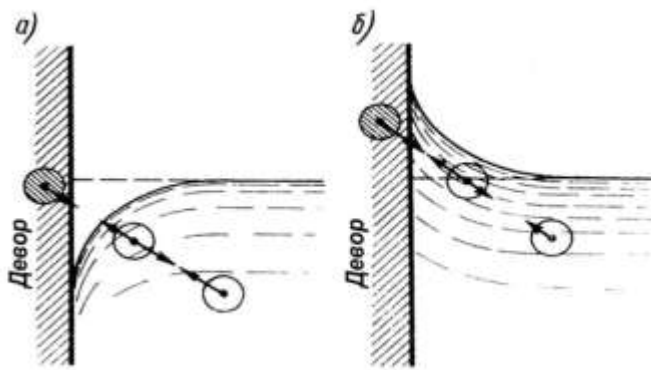
2-holat. *Harakatlanayotgan suyuqlikka gazsimon va qattiq jism qo'shilishi.*

P_{tek} – idishdagi suyuqlik sathidagi bosim; P_{eg} – nayda suyuqlik sathidagi bosim.

Agar suyuqlik zarrachalarining o'zaro tortishish kuchi qattiq devor va suyuqlik zarrachalari o'rtasidagi tortishish kuchidan katta bo'lsa devor namlanadi (1.14, a-rasm), Agar suyuqlik zarrachalarining o'zaro tortishish kuchi qattiq devorva suyuqlik zarrachalari o'rtasidagi tortishish kuchidan kichik bo'lsa devor namlanmaydi (1.14, b-rasm).



1.13-rasm. Molekulyar bosimlar ($P_{tek}-P_{eg}$) farqi



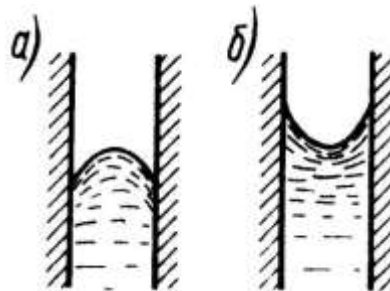
1.14-rasm. Namlanmaydigan (a) va namlanuvchi devorlar hisobiga hosil bo'luvchi kapillyar ko'tarilish

1.5. SUYUQLIKNING KAPILLYARLIGI

Aziz o'quvchi, kapillyarlik masalasi gidrotexnika sohasida juda katta ahamiyatga egaligini inobatga olib bu haqda batafsilroq to'xtalamiz.

Idish va naychadagi suyuqlik bosimlari hisobiga suyuqlik naycha orqali ko'tariladi (1.15-rasm). Naychadagi suyuqlikning idishdagi suyuqlikning sathidan yuqoridagi miqdori *kapillyar suyuqlik* deyiladi. Uning ko'tarilishi esa *kapillyar ko'tarilish* deyiladi.

Umuman, tabiatda suyuqlik havo bilan aralashgan holatda bo'ladi. Bosimning pasayishi natijasida yoki suyuqlik haroratining oshishi natijasida suyuqlikning alohida elementar hajmlaridan havo ajralib chiqa boshlaydi va suyuqlikda uzilish paydo bo'ladi. Bu uzluksizlikning buzilishi toki ajralgan havo pufakchalarini suyuqlik sathiga chiqqunicha davom etib, biz bu holatda ikki fazali sistemaga ega bo'lamiz.



1.15- rasm. Namlangan (a) va namlanmagan (b) naychalar

Shunday qilib, suyuqlikning sirt taranglik kuchlari ta'sirida kichik diametrli naychalarda ko'tarilishi yoki pasayishi *kapillyarlik* deb ataladi.

Oqim aeratsiyasi. Agarkattatezlik bilan harakatlanayotgan oqim qatlamlari orasiga havo kirib qolsa, bunda suv bilan havo pufakchalari birgalikdagi ikki fazali sistema harakati kuzatiladi. Bu hodisa *oqim aeratsiyasi* deyiladi.

Oqimning loyqa zarrachalarini o'z tarkibiga olib harakatlanishi. Agar suv oqimi yuviladigan o'zanda harakatlansa (masalan, mayda qumdan iborat o'zan) oqimning katta tezliklarida u qum bilan to'yina boshlaydi. Bu holatda ham ikki fazali sistemaga ega bo'lamiz. Shuni ta'kidlash lozimki, bu holatda oqim tarkibida harakatlanayotgan qum zarrachalaridan tashqari, o'zan tubi bo'ylab harakatlanadigan qum qatlamlari ham mavjud bo'ladi.

Suyuqliklarning muvozanat (tinch) va harakati davomida ta'sir etuvchi kuchlar. Suyuqliklarga ta'sir etuvchi kuchlarni ikki turga bo'lish mumkin:

Massa kuchlari – suyuqliklar tomchisi (zarrasi) massasiga proporsional kuchlar. Bir jinsli suyuqliklarda massa kuchlarini hajmga proporsional kuchlar deb atash mumkin. Bunday kuchlarga – og'irlik kuchlari, inersiya kuchlari va boshqalar

kiradi.

$$F = mA \quad (1.15)$$

bunda, m — V hajmdagi suyuqlikning massasi;

A – nisbiy solishtirma massa birligidagi kuch, ya'ni tezlanish.

Tashqi yuzaga ta'sir etuvchi kuchlar – suyuqlik tashqi yuzasiga proportsional bo'lgan kuchlar. Bu kuchlar turkumiga – sirtga normal yo'nalgan siquvchi bosim kuchlari va ko'ndalang ishqalanish kuchlari kiradi. Masalan:

$$P = p\omega = \sigma\omega \quad (1.16)$$

$$T = \tau\omega \quad (1.17)$$

bunda, P – bosim kuchi;

T – ishqalanish kuchi;

σ – suyuqliklar harakatidagi siqiluvchan normal kuchlanish;

τ – suyuqliklar harakatidagi ko'ndalang ichki kuchlanish;

ω – kuch ta'sir etayotgan yuza.

Yuqorida zikr etilgan kuchlar tashqi kuchlar turkumiga kiradi. Ichki kuchlar esa suyuqliklarning zarralarini bir-biriga ta'cirini ko'rsatadi va berilgan hajmda juft kuchlar bo'lganligidan ularning yig'indisi hamma vaqt nolga teng bo'ladi.

I BOBGA DOIR TEST-NAZORAT SAVOLLARI

1. Gidravlika fanining predmeti?

- Gidravlika – tabiiy fanlardan biri bo'lib, suyuqlikning nisbiy tinch holat va harakat qonuniyatlarini o'rganadi va bu qonuniyatlarni kishilar jamiyatining mehnat faoliyatida qo'llash uchun uslublar yaratadi;
- Gidravlika – tabiiy fanlardan biri bo'lib, suyuqlikning nisbiy tinch holat qonuniyatlarni o'rganadi;
- Gidravlika – suyuqlikning harakat qonuniyatlarini o'rganadi va bu qonuniyatlarni kishilar jamiyatining mehnat faoliyatida qo'llash uchun uslublar yaratadi;
- Gidravlika – qattiq jismlarning nisbiy tinch holat va harakat qonuniyatlarini o'rganadi va bu qonuniyatlarni kishilar jamiyatining mehnat faoliyatida qo'llash uchun uslublar yaratadi.

2. Puaz qanday o'lchov birlik?

- Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining o'lchov birligi;
- Kinematik yopishqoqlik koeffitsientining o'lchov birligi;
- Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining g'adir-budirlik koeffitsientiga nisbati o'lchov birligi;
- Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining erkin tushish tezlanishiga nisbati o'lchov birligi;

3. Stoks qanday o'lchov birlik?

- Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining o'lchov birligi;
- Kinematik yopishqoqlik koeffitsientining o'lchov birligi;
- Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining g'adir-budirlik koeffitsientiga nisbati

o'lov birligi;

- d) Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining erkin tushish tezlanishiga nisbati o'lov birligi;

4. Suyuqlikning kinematik yopishqoqligi nima?

- a) Dinamik yopishqoqlik koeffitsientini zichlikka nisbati;
b) Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining xajmiy og'irlikka nisbati;
c) Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining g'adiv-budirlik koeffitsientiga nisbati;
d) Dinamik yopishqoqlik koeffitsientining erkin tushish tezlanishiga nisbati.

5. Suyuqlikning dinamik yopishqoqligi nima?

- a) Suyuqlikning ichki ishqalanish kuchlarini xarakterlovchi kattalik;
b) Kinematik yopishqoqlik koeffitsientining xajmiy og'irlikka ko'paytmasi;
c) Kinematik yopishqoqlik koeffitsientining g'adiv-budirlik koeffitsientiga nisbati;
d) Kinematik yopishqoqlik koeffitsientining erkin tushish tezlanishiga nisbati.

6. Ideal va real suyuqliklar orasida qanday tafovut mavjud?

- a) Ideal suyuqliklarning zarrachalar o'rtasida o'zaro ta'sir kuchi mavjud bo'lib, real suyuqliklar zarrachalari bir-biri bilan o'zaro ta'sirda bo'lmaydi;
b) Ideal suyuqliklarning zarrachalar o'rtasida o'zaro ta'sir kuchi mavjud emas deb qabul qilinsa, real suyuqliklar zarrachalari bir-biri bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi;
c) Ideal suyuqliklar tabiatda mavjud, real suyuqliklar esa tabiatda mavjud emas;
d) Ideal suyuqliklar zichliklari o'zgaruvchan, real suyuqliklar zichliklari o'zgarmasdir.

7. Suyuqlikning solishtirma (hajmiy) og'irligi nima?

- a) Birlik hajmdagi suyuqlikning massasi;
b) Birlik hajmdagi suyuqlikning og'irligi ;
c) Suyuqlikning og'irligi;
d) Suyuqlikning massasi;

8. Suyuqlikning zichligi nima?

- a) Birlik hajmdagi suyuqlikning massasi;
b) Birlik hajmdagi suyuqlikning og'irligi ;
c) Suyuqlikning og'irligi ;
d) Suyuqlikning massasi;

9. Suyuqlik qattiq jism va gazlardan qanday farq qiladi?

- a) Qattiq jismlarda zichlik o'zgaruvchandir, gazlarda esa u doimiy qiymatga egadir;
b) Qattiq jismlar bosim ta'sirida siqiluvchandir, gazlar esa bosim ta'sirida siqilmaydi;
c) Qattiq jismlar bosim ta'sirida siqilmaydi, gazlar esa bosim ta'sirida o'zgarmas zichlikka ega;
d) Qattiq jismlarda zichlik o'zgarmas kattalikka ega, gazlarda esa u o'zgaruvchandir.

10. Kapillyarlik nima?

- a) Suyuqlikning hajmiy kuchlari ta'sirida kichik diametrli naychalarda ko'tarilishi yoki pasayishi kapillyarlik deb ataladi;
b) Suyuqlikning og'irlik kuchi ta'sirida kichik diametrli naychalarda ko'tarilishi yoki pasayishi kapillyarlik deb ataladi;
c) Suyuqlikning sirt taranglik kuchlari ta'sirida kichik diametrli naychalarda

ko'tarilishi yoki pasayishi kapillyarlik deb ataladi;

- d) Suyuqlikning sirt inertsiya kuchlar ta'sirida kichik diametrli naychalarda ko'tarilishi yoki pasayishi kapillyarlik deb ataladi

11. Aeratsiya tushunchasiniqanday ta'riflash mumkin?

- a) Kattatezlik bilan harakatlanayotgan oqim qatlamlari orasiga havo kirgan holda suv bilan havo pufakchalarining birgalikdagi ikki fazali oqim ko'rinishidagi harakati aeratsiya deyiladi.

12. Kavitatsiya tushunchasiiga ta'rif bering.

- a) Suyuqlik kavitatsiyasideb, havo pufakchalarining harakatlanayotgan suyuqlik ichidan ajralib chiqib harakatlanishiga aytiladi;
b) Suyuqlik kavitatsiyasideb, havo pufakchalarining suyuqlik massasi bilan birgalikdagi harakatiga aytiladi;
c) Suyuqlik kavitatsiyasideb, turli fizik hossalarga ega bo'lgan suyuqlik massalarining birgalikdagi harakatiga aytiladi;
d) Suyuqlik kavitatsiyasideb, havo pufakchalarining harakatlanayotgan suyuqlik ichida yorilishi hodisasiga aytiladi;

13. Kavitatsion eroziyatushunchasiga ta'rif bering.

- a) Harakatlanayotgan suyuqlik ichidagi havo pufakchalarining yorilishi natijasida paydo bo'ladigan zarb ta'sirida harakatlanayotgan suyuqlikni o'rab turgan qattiq devorning yemirilishi kavitatsion eroziya deyiladi;
b) Harakatlanayotgan suyuqlik ta'sirida qattiq devorning yemirilishi kavitatsion eroziya deyiladi;
c) Harakatlanayotgan suyuqlikning kinetik energiyasi ta'sirida qattiq devorning yemirilishi kavitatsion eroziya deyiladi;
d) Harakatlanayotgan suyuqlikning potentsial energiyasi ta'sirida qattiq devorning yemirilishi kavitatsion eroziya deyiladi;

14. Harakatlanayotgan suyuqlik qatlamlari oralig'idagi ichki ishqalanish kuchlarining dinamik yopishqoqlik koeffitsienti, qatlamning ishqalanish

yuzasi hamda tezlik gradienti $\left(T = \mu \omega \frac{du}{dh}\right)$ ga proportsionalligi haqidagi

gipotezani bashorat qilgan olimning nomini aniqlang.

- a) Ya.I.Frenkel;
b) N.P.Petrov;
c) Kulon;
d) I.Nyuton.

15. Nonyuton suyuqliklar deganda qanaqa suyuqliklarni tushushunasiz?

- a) Nyuton qonuniyatga bo'ysunadigan suyuqliklarga aytiladi;
b) Nyuton qonuniyatga bo'ysunmaydigan suyuqliklarga aytiladi;
c) $\tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dn}$ qonuniyatga bo'ysunadigan suyuqliklarga aytiladi;
d) $\tau = \mu \frac{du}{dn}$ qonuniyatga bo'ysunadigan suyuqliklarga aytiladi.

16. N.Ye.Jukovskiy viskozimetri kandy yopishqoqlikni o'lchash imkoniyatini beradi?

- a) Kinematik yopishqoqlik koeffitsientini;

- b) Umumiy yopishqoqlikni;
- c) Dinamik yopishqoqlikni;
- d) To'g'ri javob yo'q.

17. Engler viskozimetri kandy yopishqoqlikni o'lchash imkoniyatini beradi?

- a) Kinematik yopishqoqlik ko'effitsientini;
- b) Umumiy yopishqoqlikni;
- c) Dinamik yopishqoqlikni;
- d) To'g'ri javob yo'q.

18. Kapillyar viskozimetrlarni ko'rsating.

- a) Engler, Ostvald viskozimetrlari;
- b) N.Ye.Jukovskiy, Pinkevich viskozimetrlari;
- c) Bingham, Ostvald viskozimetrlari;
- d) Barchasi to'g'ri.

19. Engler viskozimetriga asosan kinematik yopishqoqlik ko'effitsientini hisoblash imkoniyatini beradigan Pomerantsev formulasini ko'rsating?

- a) $\nu = 0,0731E - 0,0631 \frac{1}{E}$;
- b) $\nu = 0,0828E - 0,08332 \frac{1}{E}$;
- c) $\nu = \frac{1}{11,995} \cdot 10^{-2} \frac{1}{\lg \frac{h_0}{h_1}} T - 3,033(h_0 - h_1) \frac{1}{T}$.
- d) Barchasi to'g'ri.

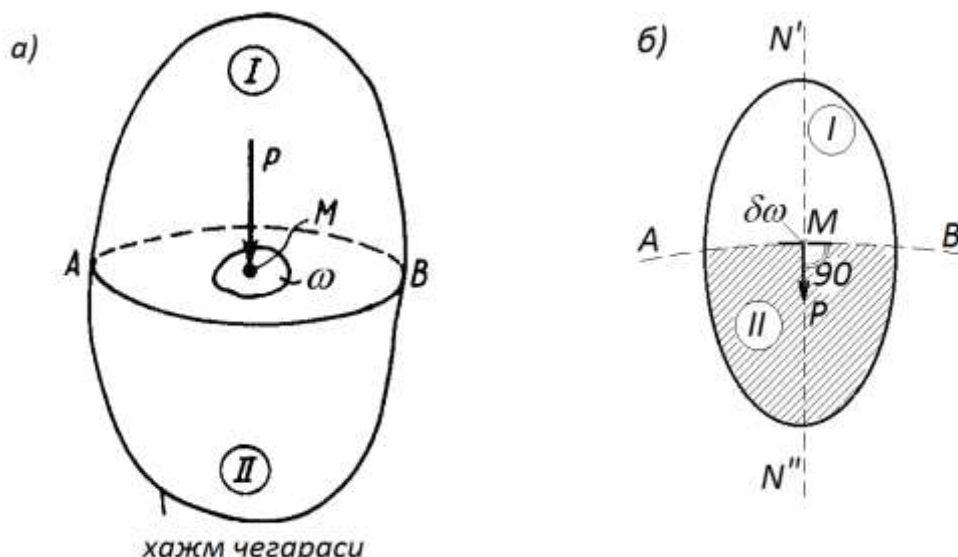
20. Ikki koaksial tsilindrli viskozimetrlar qanday yopishqoqlikni aniqlash imkoniyatini beradi?

- a) Kinematik yopishqoqlik ko'effitsientini;
- b) Umumiy yopishqoqlikni;
- c) Dinamik yopishqoqlikni;
- d) To'g'ri javob yo'q.

II bob. GIDROSTATIKA

2.1. GIDROSTATIK BOSIM VA UNING ASOSIY HOSSALARI

Suyuqliklar o'zlarining fizik hossalari ko'ra, ko'ndalang va cho'ziluvchan kuchlanishlarni qabul qilmaydi. Shu sababli suyuqliklar faqat normal yo'nalgan siqiluvchan kuchlanishlar « σ », ya'ni gidrostatik bosim r ta'sirida bo'ladi.



2.1-rasm. a) barqaror suyuqlik hajmi;
b) r gidrostatik bosim (M nuqtaga q.) MN'' - ichki normal

Suyuqlik ichida biror hajmni ajratib olamiz va uning muvozanat holatini kuzatamiz. (2.1, a-rasm). Ushbu hajmdagi suyuqlikni hayolan AB kesma orqali ikki qismga ajratamiz. II qism ustiga muvozanatni saqlab turish uchun tashqi kuch R ni qo'yamiz. Bu kuch o'zi ta'sir etayotgan ω yuzaga ta'sir etadi va o'rtacha gidrostatik bosimni hosil qiladi, ya'ni

$$p = \frac{P}{\omega} = \frac{\Delta P}{\Delta \omega} \quad (2.1)$$

Yuza ω nolga intilganda o'rtacha gidrostatik bosim – nuqtadagi *gidrostatik bosim* deb ataladi.

$$p = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{|P|}{\omega} = \lim_{\Delta \omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta \omega} \quad (2.2)$$

Gidrostatik bosimning o'lchov birliklari: $\frac{H}{m^2} = Pa$ yoki $\frac{kg}{ms^2}$; texnik atmosfera bosimi $p_{at} = 98100 \frac{H}{m^2} = 98100 Pa = 98,1 KPa$ yoki suyuqlik balandligida

$h = \frac{p}{\rho g}$; suv balandligida atmosfera bosimi $h_{suv} = 10$ m suv ustuniga, simob ustuni balandligida esa $h_{sim} = 735$ mm simob ustuniga teng.

Gidrostatik bosim ikkita asosiy hossaga ega:

1. Birinchi hossa. *Suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasidagi gidrostatik bosim ta'sir etayotgan yuzasiga normal (tik) yo'nalgan bo'lib, siquvchi hisoblanadi, ya'ni bosim qaralayotgan suyuqlik hajmini ichiga yo'nalgan bo'ladi.*

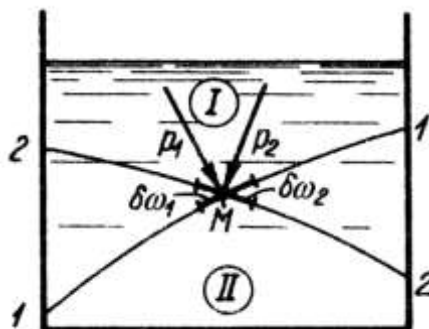
2.1, b-rasmda nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning ma'lum hajmi tasvirlangan. Uni shartli ravishda I va II qismlarga AV sirt orqali bo'lib, bunda shubhasiz, I qism AV sirt orqali II qismga ma'lum bir kuch bilan siqadi. Albatta, II qism tomondan AV sirtga shu kuchga teng, lekin yuqoriga yo'nalgan kuch qarshilik ko'rsatadi.

Endi biz faqat uzun – shtrix chiziqlar bilan rasmda ko'rsatilgan II suyuqlik qismini qaraymiz. Bunda biz II qismga qo'yilgan kuch bilan qiziqamiz.

AV sirtida bir nechta a, b, c nuqtalar atrofida $\Delta\omega$ yuzalar belgilaymiz hamda yuzalarga $N'N''$ normallar o'tkazamiz.

Bu $d\omega$ yuzalar ta'sir yuzalari deb ataladi.

Birinchi xossaning to'g'riligini teskari holat usulidan foydalanib isbotlaymiz. Faraz qilaylik, a nuqtada p bosim $N'N''$ normal yo'nalishdan boshqa yo'nalishda ta'sir etmoqda. Bunday holatda p bosimni ta'sir yuzasiga normal (tik) bo'lgan p_n va urinma bo'lgan p_τ tashkil etuvchilarga ajratish mumkin. Lekin, tinch holatdagi suyuqliklarda urinma kuchlanishlar (p_τ) mavjud bo'lmaydi. Shunga asosan, p kattalikni p_n kattalik bilan ustma-ust tushmaydi, degan taxminimiz noto'g'ri deb xulosa qilishimiz mumkin. Bu tahlil gidrostatik bosimning birinchi xossasi to'g'riligini ko'rsatadi (2.2-rasm) .



2.2-rasm. Gidrostatik bosimning 1-xossasiga doir

2. Ikkinchi hossa. *Qaralayotgan nuqtadagi gidrostatik bosim kattaligi ta'sir yuzasining qiyalik burchagiga ya'ni orientirovkasiga bog'liq emas.*

Agar birinchi xossani tahlil qilish jarayonida p gidrostatik bosim ta'siri yo'nalishiga e'tiborni qaratgan bo'lsak, endi ikkinchi xossani o'rganishda p gidrostatik bosim kattaligiga ham e'tiborni qaratamiz.

Buni tushuntirish uchun 2.3-rasmdagi tinch holatdagi suyuqlikka qarab chiqamiz. Suyuqlik ichida A ixtiyoriy nuqtani tanlaymiz. Bu nuqta orqali bir necha sirtlar (1-1, 2-2 va boshqalar) ni o'tkazamiz. Ko'rinib turibdiki, bu sirtning har qaysisi, suyuqlik hajmini I va II qismlarga bo'ladi. Bu nuqta atrofida bir necha ta'sir yuzalarni belgilaymiz. ($\Delta\omega_1$, $\Delta\omega_2$ va hakozo) . Bo'lar mos ravishda 1-1, 2-2 va hakozo sirtlarda joylashgan bo'ladi. Bu yuzalarni turli vaziyatlarda joylashganligi rasmdan ko'rinib turibdi. Endi shartli ravishda I qismdan II qismga

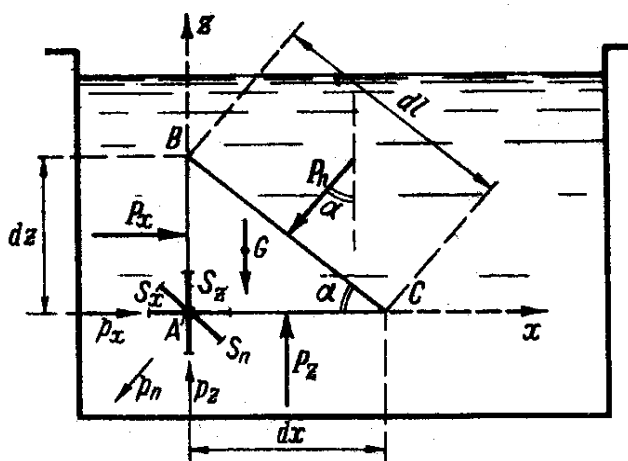
ta'sir etayotgan bosimlarni ko'rib chiqamiz. Ularni mos ravishda p_1 , p_2 va hakoza deb belgilaymiz.

Gidrostatik bosimning birinchi hossasiga asosan, nuqtadagi bosim ta'sir etayotgan yuzaga tik yo'nalgan bo'lsa, Paskal tomonidan aniqlangan ikkinchi hossasiga asosan bu nuqtadagi bosimlar bir-biriga teng bo'ladi. ya'ni:

$$p_x = p_y = p_z = p_n \quad (2.3)$$

bunda, p_x , p_y , p_z , va p_n koordinata o'qlariga nisbatan Ox , Oy , Oz va ixtiyoriy yo'nalishdagi «n-n» sirtga nisbatan gidrostatik bosim.

Ushbu (2.3) munosabatni tasdiqlash uchun suyuqlik ichidan AVS prizma shaklidagi kichik hajm ajratib olamiz. Uning tomonlari dx , dy , dz bo'lsin, massasi esa ρ (dx , dy , dz) ga teng (2.3-rasm). Bu AVS prizma quyidagi kuchlar tasirida muvozanat holatda bo'ladi. 1) Bu kuchlar ajratilgan suyuqlikning yon qirralaridan ta'sir etuvchi kuchlar – tashqi bosim kuchlari:



2.3-rasm. A nuqtadagi r bosim miqdorining ω yuzani joylashishiga bog'liq emasligini isbotlashga doir

$$P_x = p_x dz dy \quad (2.4)$$

$$P_z = p_z dx dy \quad (2.5)$$

$$P_n = p_n dl dy \quad (2.6)$$

bunda, p_x – AV yuzaga ta'sir etuvchi o'rtacha gidrostatik bosim dy , dz yuzaga ta'sir etib, Ox o'qi bo'yicha yo'nalgan, demak tenglamaga musbat qiymat bilan kiradi; chizmada α – prizmaning VS qirrasini gorizontalka nisbatan tashkil etgan ixtiyoriy burchagi; R_n va R_z – bosim kuchlari.

2) P_y kuch AVS prizma yon qirrasiga suyuqlikni o'rab turgan muhitdan bo'layotgan ta'sir. Bu kuch chizmaga tik yo'nalishda bo'lganligi sababli, ko'rsatilmagan (2.3-rasm) ;

3) G – tashqi hajmiy kuchlar, hususan ajratib olingan suyuqlikning o'z og'irligi bo'lishi mumkin.

Hajmiy kuchlar nihoyatda kichik bo'lganligi uchun, bu G kuch kattaligini aniqlash uchun uning birlik massaga nisbat qiymatini $\frac{1}{2} dx dy dz$ prizma hajmiga ko'paytiramiz; o'rtacha gidrostatik bosimlarning prizma yon qirralariga ta'sir kuchlarini miqdori ham kichik bo'lganligi sababli, ularni aniqlash uchun mos ravishda bu kuchlarni ham ($dz dy$) ; ($dx dy$) ; ($dl dy$) kattaliklarga ko'paytiramiz. Shu vaziyatni hisobga olgan holda tashqi hajmiy kuchlarni hisobga olmasdan, AVS prizma faqat tashqi sirt kuchlari R_x , R_z , R_n va P_y ta'sirida muvozanat holatida bo'ladi deb hisoblaymiz.

Buni nazarda tutgan holda, bu kuchlarning A_x va A_z o'qlarga proektsiyalari yig'indisi nolga teng deb qabul qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} P_x - P_n \sin \alpha &= 0; \\ P_z - P_n \cos \alpha &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Bu ifodalarni (2.4, 2.5, 2.6) ifodalarga qo'yamiz:

$$\left. \begin{aligned} p_x dz dy - p_n dl dy \sin \alpha &= 0; \\ p_z dx dy - p_n dl dy \cos \alpha &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

$dz = dl \sin \alpha$ va $dx = dl \cos \alpha$ ekanligini hisobga olsak,

$$p_n = p_z = p_x \quad (2.9)$$

Shunday qilib, nuqtadagi gidrostatik bosim – shu nuqta atrofida yuzaning o'zgarishi bilan o'zgarmaydi, ya'ni α burchak o'zgarishiga bog'liq emas.

2.2. IDEAL SUYUQLIKNING NISBIY TINCH HOLATI UCHUN DIFFERENTIAL TENGLAMASI

Tashqi hajmiy kuch ta'sir etayotgan tinch holatdagi suyuqlikni ko'rib chiqamiz. Aytaylik, suyuqlikning birlik massasiga f miqdordagi hajmiy kuch ta'sir etayotgan bo'lsin (2.4-rasm), uning Ox , Oy , Oz o'qlardagi proektsiyalarini mos ravishda ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z deb belgilaymiz.

Suyuqlikning ixtiyoriy nuqtalaridagi bosim (r) ni quyidagicha ifodalaymiz:

$$p = f(x, y, z) \quad (2.10)$$

Endi, bu kattaliklar orasidagi bog'liqlikni aniqlaymiz.

Koordinatalar sistemasi Ox va Oz o'qlarining yo'nalishini belgilab olib, nihoyatda kichik parallelipiped ko'rinishidagi 1-2-3-4 suyuqlik hajmini ko'rib chiqamiz.

Parallelipipedning tomonlari dx , dz , dy larni cheksiz kichik deb qabul qilamiz. Parallelipipedning markazida x , y , z koordinatadan A nuqtani tanlab olib, undagi bosimni r nuqta orqali MN chizig'ini Ox o'qqa parallel qilib o'tkazamiz hamda gidrostatik bosim shu chiziq bo'ylab o'zgaradi deb qabul qilamiz. Bu o'zgarishni $\frac{\partial p}{\partial x}$ ko'rinishida qabul qilish mumkin. M va N nuqtalardagi bosimning o'zgarishini ifodalaymiz.

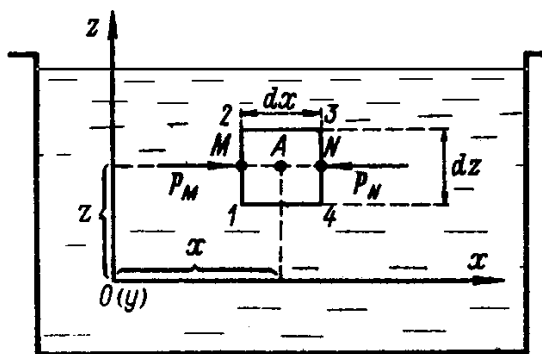
$$\left. \begin{aligned} p_M &= p - \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x}; \\ p_N &= p + \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x}. \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Bunda ikkinchi had r bosimning $\frac{1}{2} dx$ oraliqdagi o'zgarishini bildiradi.

Endi quyidagicha mulohaza yuritamiz:

a) avvalambor, elementar parallelipiped-ga ta'sir etuvchi barcha kuchlarni aniqlaymiz;

b) parallelipiped tinch holatda bo'lganligi uchun bu kuchlarning Ox o'qqa proektsiyalarini olib, ularni nolga tenglaymiz.



2.4-rasm. 2.16-ifodaga doir sxema

Natijada birinchi differentsial tenglamaga ega bo'lamiz.

c) ikkinchi va uchinchi differentsial tenglamalarni olish uchun mos ravishda Oy va Oz o'qlarga proektsiyalarini olib, ularni nolga tenglaymiz.

Yuqoridagi mulohazalarga asosan, faqat birinchi tenglamani keltirib chiqaramiz.

Parallelipipedga (1-2-3-4) ta'sir etuvchi kuchlarni aniqlaymiz.

- hajmiy kuchlar.

$$\phi(dx dy dz) \rho \quad (2.12)$$

$(dx dy dz) \rho$ kattalik parallelipipeddagi suyuqlik massasi, uning Ox o'qqa proektsiyasi

$$\phi_x(dx dy dz) \rho. \quad (2.13)$$

- tashqi kuchlar: elementar parallelipipedning 1-4 va 2-3 qirralariga ta'sir etuvchi kuchlar farqi nolga teng. 1-2 va 3-4 qirralarga ta'sir etuvchi kuchlar farqi esa quyidagiga teng:

$$\begin{aligned} P_M - P_N &= p_M(dz dy) - p_N(dz dy) = \\ &= \left(p - \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy dz - \left(p + \frac{1}{2} dx \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy dz = - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \end{aligned} \quad (2.14)$$

Barcha kuchlar yig'indisini topamiz.

$$\phi_x(dx dy dz) \rho - \frac{\partial p}{\partial x}(dx dy dz) = 0. \quad (2.15)$$

Xuddi shu tarzda Ox va Oy o'qlar uchun ish tutib, qolgan ikki tenglamani yozib olib:

$$\phi_y(dx dy dz) \rho - \frac{\partial p}{\partial y}(dx dy dz) = 0;$$

$$\phi_z(dx dy dz) \rho - \frac{\partial p}{\partial z}(dx dy dz) = 0.$$

Bu tenglamalarni birlik massaga nisbatan yozamiz, ya'ni $(dx dy dz) \rho$ hadga bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= 0; \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= 0; \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Bu tenglama 1755 yili L.Eyler tomonidan yozilganligi sababli *Eyler tenglamasi*¹ deb ataladi.

2.3. IDEAL SUYUQLIKNING TINCH HOLATI UCHUN DIFFERENTIAL TENGLAMANI INTEGRALLASH

(2.16) tenglamalar sistemasini mos ravishda dx , dy , dz larga ko'paytirib, chap va o'ng tomonlarini qo'shamiz:

$$\phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = 0 \quad (2.17)$$

Nuqtaga ta'sir etuvchi r bosim, koordinatalarga bog'liq bo'lgan funktsiya ekanligini hisobga olib, ya'ni,

$$p = f(x, y, z) \quad (2.18)$$

(2.17) tenglamadagi qavs ichidagi ifoda r ning to'liq differentsiali deb olsak,

$$dp = \rho(\phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz) \quad (2.19)$$

u holda, Eyler (2.19) tenglamasining chap tomoni bir funktsiyaning to'liq differentsiali ekan, ikkinchi tomonini ham funktsiyaning to'liq differentsiali deb qabul qilish mumkin. $\rho = \text{const}$ bo'lganligi uchun

$$dp = \rho dU \quad (2.20)$$

bunda

$$dU = \phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz. \quad (2.21)$$

Umuman, dU differentsialni boshqacha ifodalash ham mumkin:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz \quad (2.22)$$

(2.21) va (2.22) o'zaro taqqoslab, quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \phi_x; \quad \frac{\partial U}{\partial y} = \phi_y; \quad \frac{\partial U}{\partial z} = \phi_z. \quad (2.23)$$

Yuqoridagi mulohazadan ko'rinib turibdiki, U koordinatalarga bog'liq bo'lgan funktsiya bo'lib, hususiy hosilalari birlik hajmdagi og'irlik kuchining proektsiyalarini (f_x ; f_y ; f_z) ifodalaydi.

¹L.Eyler – Peterburg akademiyasining xaqiqiy akademigi, buyuk matematik, mexanik va fizik. Bazel(Shveytsariya) shahrida tug'ilgan. 1727-1741 va 1766-1783 yillarda S.Peterburgda yashab ijod qilgan.

Demak, U potentsial funktsiya bo'lganligi sababli, f kuch ma'lum potentsialga ega bo'lgan kuch deb qabul qilinadi. Suyuqliklar shunday kuch ta'siri ostida tinch holatda bo'lishi mumkin.

(2.20) tenglamani integrallab,

$$p = \rho U + C \quad (2.24)$$

ifodaga ega bo'lamiz. Bunda, C – doimiy o'zgarmas kattalik (integral doimiysi) .

Bu kattalikni aniqlash uchun ixtiyoriy nuqtadagi ma'lum

$$p = p_0 \text{ va } U = U_0 \quad (2.25)$$

kattaliklarni qabul qilamiz. Bu nuqta uchun (2.24) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$p_0 = \rho U_0 + C, \quad (2.26)$$

bundan,

$$C = p_0 + \rho U_0. \quad (2.27)$$

(2.27) ifodani (2.24) ifodaga qo'yib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$p = \rho U + p_0 - \rho U_0 \quad (2.28)$$

yoki

$$p = p_0 + \rho(U - U_0). \quad (2.29)$$

Potentsial funktsiya nima degan savol paydo bo'lishi albatta tabiiy. Bu tushunchani quyidagicha izohlash mumkin. Bizga ma'lumki, biror bir fizik jarayon ro'y berayotgan muhit fizik maydon deb ataladi. Bu maydon shartli ravishda ikki turga bo'linadi. 1) Skalyar maydon (harorat, zichlik maydoni) ; 2) Vektorli maydon (tezlik, kuch, bosim maydonlari)

Ma'lum bir $\psi = f(x, y, z)$ skalyar (ya'ni yo'nalishga ega bo'lmagan kattalik) ning maydoni $\psi = \text{const}$ chiziq (yoki sirt) bilan ifodalanishi mumkin. Masalan t^0 harorat maydoni $t^0 = \text{const}$ chiziq (yon sirti) bilan ifodalanadi.

Vektor maydoni bilan ishlash, skalyar maydon bilan ish olib borishga nisbatan ancha murakkabroq. Shu sababli vektor maydonini o'rganishda u maxsus skalyar maydon bilan almashtiriladi.

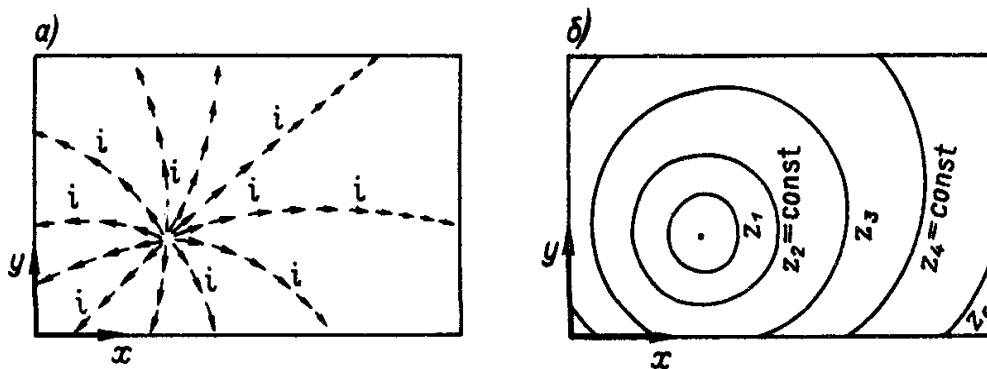
Bunday skalyar maydon maxsus U funktsiyaning teng qiymatli chiziqlari bilan ifodalanadi. Bu funktsiya *potentsial funktsiya* deyiladi yoki oddiygina *potentsial* deb yuritiladi. Bunga kuch potentsiali, tezlik potentsiali misol bo'la olishi mumkin. U skalyar kattalikdir.

U funktsiya quyidagi xossalarga ega:

a) U funktsiya faqat x, y, z koordinatalarga bog'liq. Ayrim hollarda vaqtga ham ham bog'liq bo'ladi.

b) U funktsiyaning skalyar maydondagi turli nuqtalarda olingan xususiy xossalari, vektor maydonning shu nuqtalardagi vektorning proektsiyalari kattaligiga teng bo'lishi kerak.

Namuna tariqasida yer sirtining rel'efini ko'rib chiqishimiz mumkin. Yerning har bir nuqtasida yer sirtining ma'lum nishabligi mavjud. Bu nishablikni eng katta pastlashi yo'nalishdagi vektor deb qabul qilish mumkin. Shu sababli, yer rel'efining i nishabliklar maydoni sifatida qabul qilishimiz mumkin (qarang 2.5-rasm) .



2.5-rasm. Yer sirti i nishabliklari: (a) vektor maydonini (b) skalyar maydon bilan almashtirish

Endi yer sirti balandligi belgisini (z) deb belgilab olib, relefimizda plan bo'yida gorizontallarni o'tkazamiz $z = \text{const}$ (2.5, b-rasm). Shubhasiz, z belgi x va y koordinatalarga bog'liq bo'lib, qo'yidagi xossaga ega:

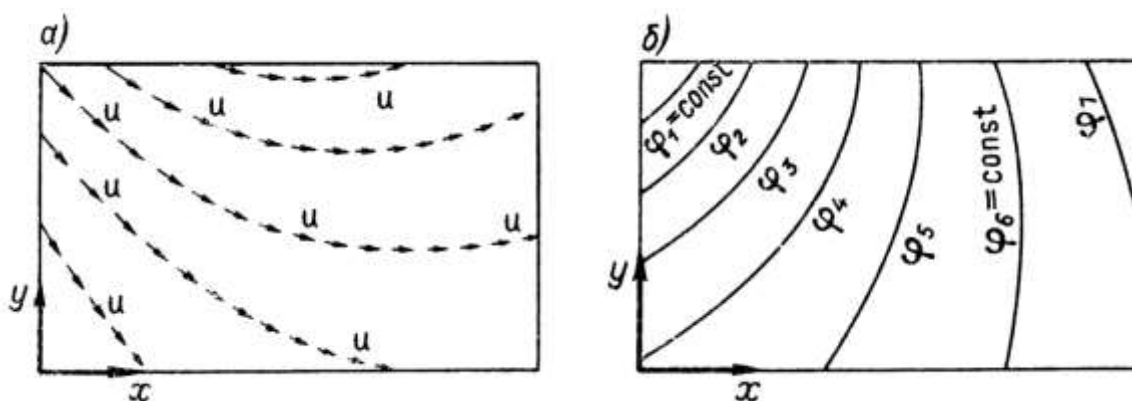
$$\frac{\partial z}{\partial x} = -i_x; \quad \frac{\partial z}{\partial y} = -i_y,$$

bu yerda i_x va i_y – i nishablikning tashkil etuvchilari;

Bu yerda xosilalarda ishorasini tashlab yuborib, yozuvni soddalashtirish uchun $z' = -z$ belgilash kiritish mumkin.

Ko'rinib turibdiki, z skalyar kattalik, i nishablik vektor maydoni potentsial funktsiyasidir. Amaliyotda joy relefi $z = \text{const}$ ekvipotentsial ko'rinishda beriladi. Bu gorizontaldan foydalanib, yer sirtining ixtiyoriy nuqtasida i vektor kattaligi va yo'nalishini aniqlash mumkin.

Kelgusi mavzularda biz tezliklar vektor maydoni bilan tez-tez duch kelishimiz mumkin. (2.6, a-rasm).



2.6-rasm. a) tezliklar vektor maydoni; b) ϕ potentsial funktsiya tezliklar maydonining skalyar maydoni

Bunday hollarda bunday maydonini ϕ tezlik potentsialini xarakterlovchi skalyar maydon bilan almashtirishimizga to'g'ri keladi (2.6, b-rasm)

Shuni ta'kidlash kerakki, har qanday vektor maydonini potentsial funktsiya bilan ifodalab bo'lmaydi. Shunday vektor maydonlari borki, ular potentsialga ega emas. Ularni hisoblash sezilarli murakkabliklarni paydo qiladi. Potentsial funktsiyaga ega vektor maydonlarni qarashda bu funktsiyani aniqlash bilan bog'liq matematik muammolarga duch kelishimiz mumkin.

2.4. TENG BOSIMLAR TEKISLIGI

Nisbiy tinch holatdagi bir xil suyuqlikdan o'tkazilgan gorizont tekislikning hamma nuqtalarida bosim bir xil bo'ladi. Bunday tekislik *teng bosimlar tekisligi* deb ataladi. Bu tekislik tenglamasini (2.19) tenglamada gidrostatik bosimni o'zgarish deb qabul qilish orqali yozishimiz mumkin:

$$p = \text{const yoki } dp = 0,$$

demak,

$$dp = (\phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz)$$

yoki

$$U(x, y, z) = \text{const.}$$

Shunday qilib, bu teng bosimlar tekisligidagi barcha zarrachalar massa kuchlariga mos keluvchi bir xil solishtirma potentsial energiyaga teng ega bo'ladi.

Bunday teng bosimlar tekisligiga suyuqlikning erkin sirti misol bo'la olishi mumkin. Bu sirt gidrotexnika amaliyotida havo bilan chegaralangan bo'ladi. Yuqoridagi tenglamaga asosan xulosa qilish mumkinki, *teng bosimlar tekisligidagi nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasiga ta'sir etuvchi massa kuchlarining yo'nalishi, shu tekislikka tik yo'nalgan bo'ladi.*

2.5. OG'IRLIK KUCHI TA'SIRI OSTIDAGI SUYUQLIKKA TA'SIR ETUVCHI GIDROSTATIK BOSIM KUCHI

Bundan keyin suyuqlikka faqat bitta hajmiy kuch – og'irlik kuchi ta'sir etayapti, deb qabul qilamiz. Yopiq idishga solingan suyuqlik sathiga p_0 tashqi kuch ta'sir etayotgan holatni qabul qilib, uning ixtiyoriy h chuqurlikdagi nuqtasi (m) atrofida birlik massani ajratib olamiz (2.7-rasm).

Faraz qilaylik, bu massaga f kuch ta'sir etmoqda. Yuqorida ta'kidlangan holatimiz uchun

$$\phi_x = 0, \phi_y = 0, \phi_z = -g, \quad (2.30)$$

bunda, g – og'irlik kuchi ta'siri ostidagi tezlanish;

ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z – ϕ kuch proektsiyalari.

Bizning holat uchun

$$dU = \phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz = -g dz \quad (2.31)$$

(2.31) ni (2.20) ga qo'yib,

$$dp = -\rho g dz. \quad (2.32)$$

ifodani olamiz. Bu ifodani integrallasak,

$$p = -\rho g z + C \quad (2.33)$$

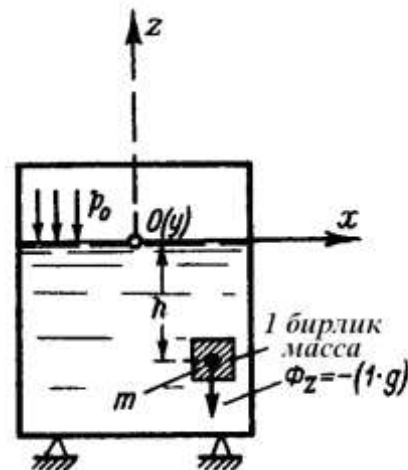
yoki

$$p = -\gamma z + C \quad (2.34)$$

S – boshlang'ich funksiya doimiysini topish uchun, sathdagi nuqtani ko'rib chiqamiz:

$$z = 0; p = p_0, \quad (2.35)$$

$$C = p_0; \quad (2.36)$$



2.7-rasm. "Og'ir suyuqlik"ka r bosim ta'siri

natijada quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$p = p_0 - \gamma z. \quad (2.37)$$

Bunda chuqurlikni

$$h = -z; \quad (2.38)$$

deb qabul qilsak,

$$p = p_0 + \gamma h, \quad (2.39)$$

bunda, r – nuqtaga ta’sir etuvchi to‘liq absolyut bosim;

p_0 – tashqi bosim

$$\gamma h = p_{oz} \text{ (belgi)} \quad (2.40)$$

Ko‘rilayotgan nuqtadan yuqoridagi suyuqlik qatlamini nuqtaga bo‘lgan bosimi *og‘irlik gidrostatik bosimi* deb ataladi.

Agar idishning qopqog‘i ochiq bo‘lsa,

$$p_0 = p_a \quad (2.41)$$

deb qabul qilinadi, bunda, p_a – atmosfera bosimi.

Nuqtaga ta’sir etayotgan bosimlarning farqi $(p - p_a)$ ayrim hollarda *manometrik bosim* deb ataladi (agar bu farq musbat bo‘lsa, ya’ni, $(p > p_a)$).

Agar muhitdgi bosimlar farqi manfiy $(p < p_a)$ bo‘lsa, bunday bosim *vakuummetrik bosim* deyiladi.

$$p_v = p_a - p$$

Ko‘pgina holatlarda, amaliyotda to‘liq bosim – absolyut bosim bilan emas, balki, atmosfera bosimidan yuqori bo‘lgan bosim bilan ishlashga to‘g‘ri keladi, shu sababli ularni aniq belgilab olamiz.

p_A – absolyut to‘liq bosim;

r – atmosfera bosimidan yuqori bo‘lgan bosim.

Demak,

$$p = p_A - p_a \quad (2.42)$$

Absolyut to‘liq bosim quyidagicha aniqlanadi:

Yopiq idishlar uchun:

$$p_A = p_0 + \gamma h = p_0 + p_{oz} = p_a + p; \quad (2.43)$$

Ochiq idishlar uchun:

$$p_A = p_a + \gamma h = p_a + p_{oz} = p_a + p; \quad (2.44)$$

bunda, r_{og} – og‘irlik bosimi.

Yuqoridagi mulohazadan ko‘rinib turibdiki, ochiq idishlar uchun, atmosfera bosimidan yuqori bo‘lgan kattalik va og‘irlik gidrostatik bosimi degan tushunchalar bir-biriga mos keladi. Yopiq idishlar uchun ular har xil qiymatga ega.

$$p = p_{oz} + (p_0 - p_a) \quad (2.45)$$

Xuddi shunday gidrostatik bosim kuchi haqida ham aniqlik kiritib olamiz.

$$p_m = p_A - p_a$$

p_A – absolyut to‘liq gidrostatik bosim kuchi;

p_m – atmosfera bosimidan yuqori bo‘lgan bosim bo‘lib, u *manometrik bosim* deb yuritiladi.

2.6. PEZOMETRIK BALANDLIK

«Pezometr» grek soʻzlari qoʻshilmasidan olingan boʻlib, «bosim», «oʻlchov» degan maʼnolarni anglatadi. Qopqogʻi berkitilgan idishga suyuqlik solingan boʻlib, unga ogʻzi kovsharlangan va ichidan havosi soʻrilgan Π_0 va ogʻzi ochiq P naychalar m nuqta sathiga oʻrnatilgan (2.8-rasm). Bu holat uchun quyidagi ifodalarni yozish mumkin:

a) idishdagi suyuqlik tomonidan m nuqtaga taʼsir etuvchi bosim

$$p_A = p_0 + \gamma h \quad (2.46)$$

b) naychadagi suyuqlik tomonidan m nuqtaga taʼsir etuvchi bosim

$$0 + \gamma h_A \quad (2.47)$$

Bu ikkala ifoda bir-biriga teng boʻlishi kerak

$$p_A = \gamma h_A \quad (2.48)$$

bundan,

$$h_A = \frac{p_A}{\gamma} \quad (2.49)$$

Demak, suyuqlikning oʻz ogʻirligi hisobiga absolyut toʻliq bosimni hosil qiluvchi naychadagi koʻtarilish balandligi *toʻliq pezometrik balandlik* deyiladi. Bu kattalik uzunlik oʻlchov birligida oʻlchanganligi sababli, toʻliq bosim ham uzunlik oʻlchov birliklarida oʻlchanishi mumkin. Masalan, *atmosfera bosimi*:

$$p_a = 1 \text{ at} = 1 \frac{\text{kgk}}{\text{sm}^2} = 10000 \frac{\text{kgk}}{\text{m}^2} = 98,1 \frac{\text{kH}}{\text{m}^2} = 98,1 \text{ kIII} =$$

$$= 10 \text{ m suv ustuni} = 735 \text{ mm simob ustuni}$$

Endi n nuqtaga naychadagi va idishdagi suyuqliklar tomonidan taʼsir etuvchi bosimlarni aniqlaymiz:

$$p_A = p_m + \gamma h \quad (2.50)$$

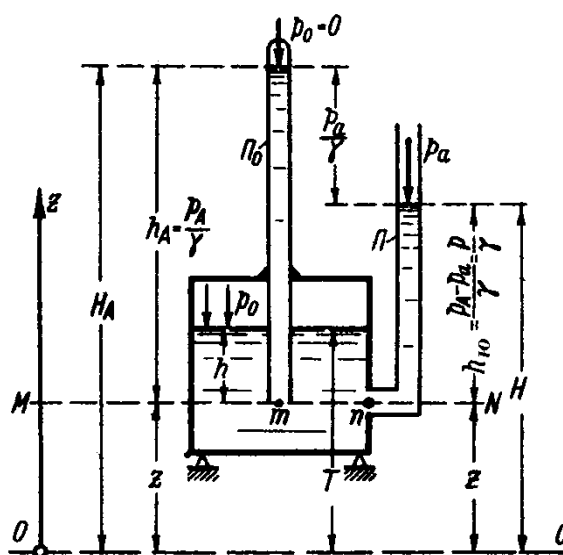
$$p_A + \gamma h_{io} \quad (2.51)$$

boʻlarni bir-biriga tenglab, bizga kerakli kattalikni topamiz:

$$p_A = p_a + \gamma h_{io} \quad (2.52)$$

$$h_{io} = \frac{p_A - p_a}{\gamma} = \frac{p}{\gamma} \quad (2.53)$$

bunda, h_{yu} — atmosfera bosimidan yuqori boʻlgan bosimga mos keluvchi *pezometrik balandlik* deb ataladi



2.8-rasm. Pezometrik balandlik va potentsial napor

2.7. VAKUUM

Hozirgacha boʻlgan vaziyatlarda doimo toʻliq bosim (p_A) atmosfera bosimi (p_a) dan katta boʻlgan holatni koʻrdik.

Agar $p_A < p_a$ bo'lsa, bu muhitda vakuumetrik bosim mavjud bo'lishliginiyuqorida ta'kidlagan edik, bunday bosim teskari pezometr yoki vakuummetr yordamida o'lchanadi.

m nuqtaga idishdagi va naychadagi suyuqliklar tomonidan ta'sir etayotgan bosimni aniqlaymiz (2.9-rasm).

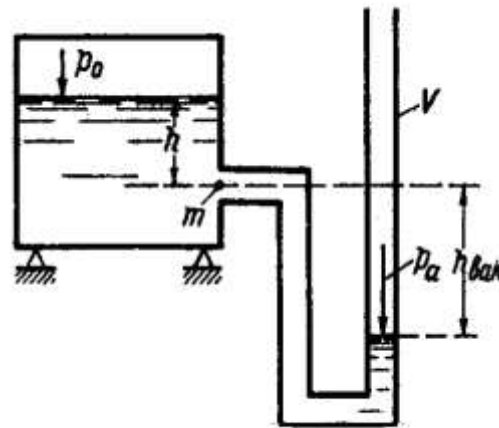
Idishdagi suyuqlik tomonidan

$$p_A = p_0 + \gamma h \quad (2.54)$$

V – shaklidagi naychada joylashgan suyuqlik tomonidan

$$p_a - \gamma h_{vak} \quad (2.55)$$

Ikkalasini bir-biriga tenglab, h_{vak} kattalikni aniqlaymiz.



2.9-rasm. Vakuum
 h_{vak} – vakuum balandligi

$$h_{vak} = \frac{p_a - p_A}{\gamma} = -\frac{p}{\gamma} \quad (2.56)$$

Demak, bosimlar farqiga mos keluvchi muhit *vakuum* deb atalib, bunga mos keluvchi balandlik esa *vakuumetrik balandlik* deyiladi.

Ta'kidlash kerakki, atmosfera bosimidan kichik qiymatdagi bosimga ega bo'lgan muxit *vakuum* deyiladi

2.8. PASKAL QONUNI

Bir jinsli suyuqlikning ichida taqqoslash tekisligiga nisbatan z va z_0 masofa balandlikda joylashgan p va p_0 bosimlarga ega bo'lgan nuqtalardagi bosimni Δp va Δp_0 miqdorga oshiramiz. Hidrostatikaning asosiy qonuniga asosan:

$$z + \frac{p + \Delta p}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0 + \Delta p_0}{\gamma}$$

bunga asosan:

$$\Delta p = \Delta p_0$$

Bu vaziyatdan *Paskal qonuni* o'z isbotini topadi: *Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning muvozanat holatini buzmaydigan har qanday tashqi ta'sir uning boshqa nuqtalariga nech qanday o'zgarishsiz uzatiladi.*

2.9. TUTASH IDISHLAR QONUNI

Faraz qilaylik, ikkita bir-biri bilan tutashgan ochiq idishda ikki xil zichlikka ega suyuqlik joylashtirilgan. Ikkala suyuqlikning chegaralovchi sirt orqali chegara tekisligini o'tkazib, bu tekislikda joylashgan bir xil bosimga ega 1 va 2 nuqtalarni belgilab olamiz (2.10-rasm)

$$p_1 = p_2,$$

idishlar ochiq bo'lganligi sababli,

$$p_1 = p_a + \gamma_1 h_1$$

$$p_2 = p_a + \gamma_2 h_2$$

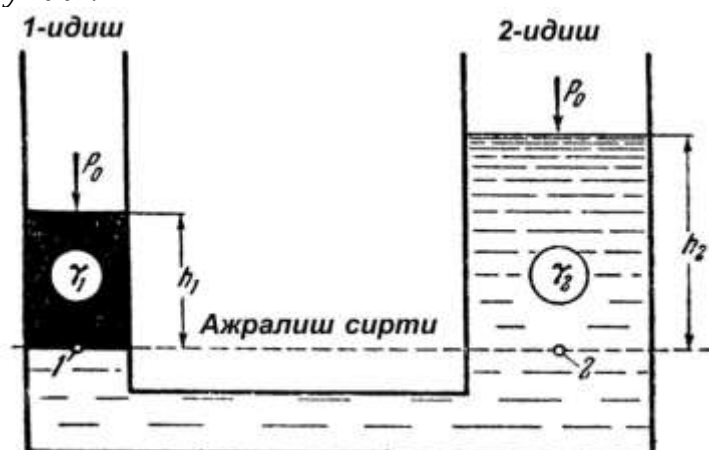
qabul qilingan shartga asosan,

$$\gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2$$

Bundan,

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$$

Demak, agar ochiq bir biri bilan tutashgan idishlardagi suyuqliklar turli xil bo'lsahamda ularning erkin sirtlaridagi bosimlar teng qiymatga ega bo'lsa, u holda chegaralovchi tekislikdan ularning erkin sathlarigacha bo'lgan balandliklar nisbati hajmiy og'irliklari nisbatiga teskari proportsionaldir. Bu ifoda tutash idishlar qonuni deyiladi.



2.10-rasm. Tutash idishlar

2.10. SUYUQLIKNING POTENTIAL ENERGIYASI. POTENTIAL NAPOR*

Aytaylik, 2.10-rasmda 00 taqqoslash tekisligini o'tkazamiz. n nuqtada G og'irlikka ega bo'lgan suyuqlik P naycha orqali h_{yu} balandlikka ko'tariladi. Demak, ko'rilayotgan hajmdagi suyuqlik ma'lum ishni bajarishi mumkin.

O'zining tushishi hisobiga z balandlikdan to taqqoslash tekisligigacha bajargan ishi quyidagicha aniqlanadi:

$$(\Pi\mathfrak{Z})_z = zG \quad (2.57)$$

O'z og'irligi hisobiga h_{yu} balandlikdan tushishda bajargan ishi:

$$(\Pi\mathfrak{Z})_p = h_{yo} G \quad (2.58)$$

To'liq bajarilgan ish:

$$(\Pi\mathfrak{Z}) = (\Pi\mathfrak{Z})_z + (\Pi\mathfrak{Z})_p = zG + h_{yo} G. \quad (2.59)$$

Og'irligiga nisbatan solishtirma energiya:

*napor- suyuqlikli muhitning ma'lum chuqurligida joylashgan ixtiyoriy nuqtadagi bosim ta'siri ostida uning ko'tarilish balandligi bo'lib, uzunlik o'lchov birligida o'lchanadigan kattalikdir. Shu sababli, bu kattalikni noto'g'ri qabul qilmaslik maqsadida mualliflar bu tushunchani tarjimasiz o'z holida qoldirishdi.

$$(SPE) = (C\Pi\mathcal{E}) = \frac{(\Pi\mathcal{E})}{G} = z + h_{\text{yo}} = H \quad (2.60)$$

Bu kattalik *potentsial napor* deb ataladi.

Suyuqlikning solishtirma potentsial energiyasiga mos keluvchi kattalik, yoki birlik og'irligiga mos keluvchi balandlik *napor* deb ataladi. Bu kattalik asosan geometrik (z) va (r) bosim naporlariga bo'linadi.

Tinch holatdagi suyuqlik uchun quyidagi tenglamalarni yozamiz:

$$\begin{aligned} H &= z + \frac{p}{\gamma} = z + \frac{p_A - p_a}{\gamma} = z + \frac{(p_0 + \gamma h) - p_a}{\gamma} = \\ &= (z + h) + \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_a}{\gamma} = T + \frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_a}{\gamma} = \text{const} \end{aligned} \quad (2.61)$$

Shuni ta'kidlash kerakki, qarayotgan nisbiy tinch xolatdagi suyuqlikning barcha nuqtalarida N napor o'zgarmas kiymatga ega bo'lganligi sababli, suyuqlikning solishtirma potentsial energiyasi xam o'zgarmas kattalikka ega bo'ladi. Ya'ni

$$(C\Pi\mathcal{E}) = \text{const};$$

$T = \text{const}$ – taqqoslash tekisligidan yuqori sath balandligi.

Agar nisbiy tinch xolatdagi suyuqlik to'ldirilgan idishning bir necha turli belgilardagi nuqtalariga ochiq pezometrlar ulansa, ular bir xil satxni ko'rsatishadi, bu satx gidravlikada $r-r$ xarflari bilan belgilanib, *pezometrik tekislik* (ko'pgina holatlarda *pezometrik chiziqlik*) deb yuritiladi.

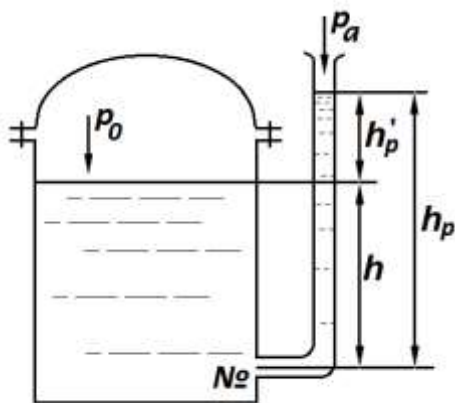
To'liq *potentsial napor* deganda esa, atmosfera bosimining ta'siri mavjud bo'lmagan muhitda suyuqlik ko'tariladigan balandlik tushuniladi va H_A harfi bilan belgilanadi.

2.11. BOSIM O'LGHASH ASBOBLARI

Gidrostatik bosimni o'lchash uchun ishlatiladigan asboblarni ikki guruhga – suyuqlikli va mexanik asboblarga ajratish mumkin.

I. Suyuqlikli asboblari.

1. *Pezometr* (2.11-rasm). Pezometr diametri uncha katta bo'lmagan ($d > 5\text{mm}$) va suyuqlikning kapillyarlik hossasi inobatga olinib tayyorlanadigan shisha naychadir. Naychaning bir uchi ochiq bo'lib, ikkinchisi esa bosimi o'lchanadigan idish bilan tutashgan bo'ladi.



2.11-rasm.

Suyuqlikdagi bosim kattaligi shu ustun balandligi bilan o'lchanadi.

$$P_m = P_0 + \gamma(h'_p + h) = P_0 + \gamma h'_p$$

$$P_0 = P_a + \gamma h'_p$$

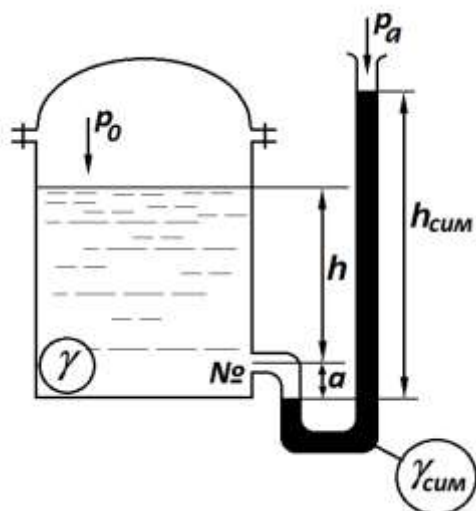
bunda, h_p – pezometrik balandlik, ya'ni suyuqlikning o'z og'irligi hisobiga ko'tariladigan balandligi.

Pezometrlar yordamida $0,4 \div 0,5$ at gacha bo'lgan bosimlar o'lchanadi.

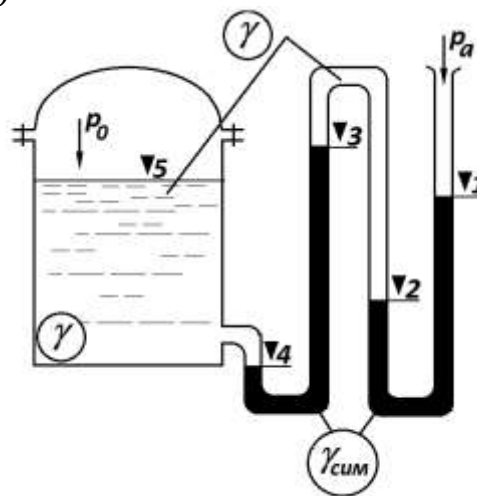
2. *Suyuqlikli manometrlar* (2.12-rasm). Pezometrlardan farqli o'laroq,

suyuqlikli manometrda bosim o'zga suyuqlik bilan o'lchanadi, bu suyuqlik odatda bosimi o'lchanayotgan idishdagi suyuqlikka qaraganda yuqori hajmiy og'irlikka ega bo'ladi. Odatda buning uchun simobdan foydalaniladi.

3. *Batareyasimon manometr* (2.13-rasm) .



2.12-rasm.



2.13-rasm.

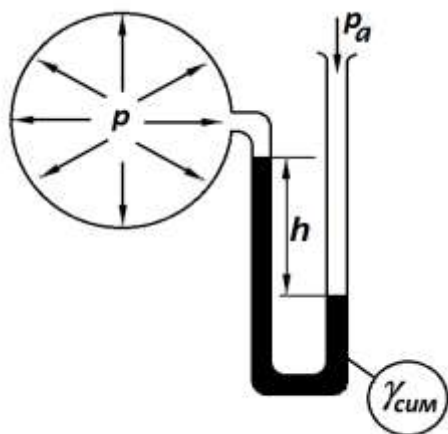
4. *Differentsial manometr* (2.14-rasm) . Bu asbob ikkita idishdagi yoki bir idishning nuqtasidagi bosimni o'lchash uchun ishlatiladi. O'ta aniq o'lchov natijasini olish uchun yoki bosim juda kichik bo'lganda *mikromanometrlar* ham ishlatiladi.

Shuni aytish kerakki, agarda bosimi o'lchanayotgan idishda vakuum bo'lsa, unda bosimni o'lchash uchun vakuummetr ishlatiladi.

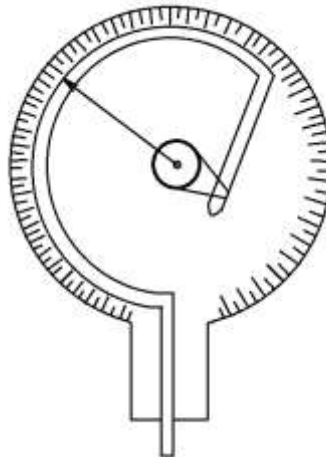
Odatda suyuqlikli asbob – bosimi yuqori bo'lmagan hollarda qo'llaniladi, aksariyat laboratoriyada ishlatiladi. Katta bosimlarni o'lchashda mexanik manometrlar ishlatiladi.

II. Mexanik asboblari (2.15-rasm) .

Bunday bosimni o'lchash asboblariidan amaliyotda prujinali manometrlar keng ishlatiladi. Bu asbob ichi g'ovak yupqa mis naychadan iborat bo'lib, uning bir uchi kavsharlangan, ikkinchi uchi esa bosimi o'lchanayotgan suyuqlikka tushirilgan bo'ladi. Bosim ta'sirida prujina uzayadi va tishli mexanizm yordamida strelkani harakatga keltiradi. Uning harakatiga qarab bosimni kattaligi aniqlanadi.



2.14-rasm.



2.15-rasm.

2.12. AYLANAYOTGAN IDISHDAGI SUYUQLIK MUVOZANATI (SUYUQLIKNING NISBIY TINCH HOLATI)

Bu vaziyatni o'rganish jarayonida suyuqlikka hajmiy og'irligi kuchlaridan tashqari, boshqa hajmiy kuchlar sistemasi, xususan markazdan qochuvchi inersiya kuchlari ta'sir qilayotgan holat bilan tanishamiz.

Aylana tsilindrik shakldagi idishga suyuqlik to'ldirilgan bo'lib, bu idish o'zining vertikal o'qi atrofida doimiy Ω burchak tezlik bilan tekis aylanib harakatlanadi.

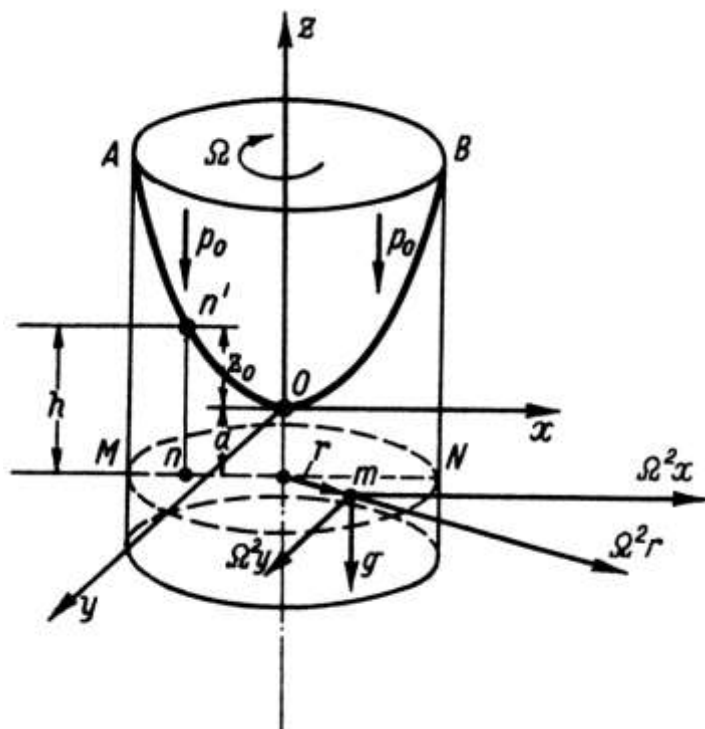
Aylanayotgan idish devorlarining ishqalanish kuchi hisobiga suyuqlik harakatga kela boshlaydi va ma'lum vaqtdan keyin u ham idish devorlariga nisbatan tinch holatda joylashib u bilan birga Ω burchak tezligida harakatlana boshlaydi (2.16-rasm).

Agar chizmada ko'rsatilgan koordinatalar aylanayotgan o'qqa nisbatan qo'zg'almas bo'lsa, ya'ni unga mahkamlangan bo'lsa, u holda bu koordinatalar ham idish devorlariga nisbatan tinch holatda joylashgan bo'ladi. Shu sababli bu holatda Eyler tenglamasini qo'llash mumkin.

Bu tenglama tarkibiga suyuqlikning birlik massasiga ta'sir etuvchi f hajmiy kuch kiradi. f hajmiy kuch ikki kuch – og'irlik kuchi va markazdan qochuvchi kuchdan tashkil topadi. Markazdan qochuvchi kuchning koordinata o'qlariga proektsiyalarini aniqlash uchun suyuqlik ichida m nuqtani belgilab, uning atrofida dM elementar massa, idish o'qi atrofida r radius bo'ylab aylanib harakatlanadi. Bu radius idish o'qiga tik bo'lgan tekislikda joylashgan bo'ladi. Bu elementar massaga ta'sir etuvchi markazdan qochma kuchni yozamiz.

$$I' = \frac{v^2 \delta M}{r} = \frac{\delta M}{r} (\Omega r)^2 = \Omega^2 r \delta M \quad (2.62)$$

bunda, v – dM massaning r radius bo'ylab aylanish tezligi;



2.16-rasm. OZ o'qqa nisbatan aylanuvchi idish AOV suyuqlik erkin sirti

Nuqta atrofidagi markazdan qochma kuchning birligi massaga nisbatan yozamiz:

$$I = \frac{I'}{\delta M} = \Omega^2 r \quad (2.63)$$

Bu kuch ham I' kuch kabi, radius bo'ylab o'qidan tashqariga yo'nalgan bo'ladi. I kuch proektsiyalarini birlik massaga nisbatan yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} I_x &= \Omega^2 r \cos(r, x) = \Omega^2 r \frac{x}{r} = \Omega^2 x; \\ I_y &= \Omega^2 r \cos(r, y) = \Omega^2 r \frac{y}{r} = \Omega^2 y; \\ I_z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.64)$$

Hajmiy og'irlik kuchi proektsiyalarining birlik massaga nisbatan ko'rinishi (2.30) ifoda ko'rinishida to'ladi

$$\left. \begin{aligned} \phi_x &= 0 + \Omega^2 x = \Omega^2 x \\ \phi_y &= 0 + \Omega^2 y = \Omega^2 y \\ \phi_z &= -g + 0 = -g \end{aligned} \right\} \quad (2.65)$$

(2.65) ifodani (2.19) ifodaga qo'yamiz:

$$dp_A = \rho(\Omega^2 x dx + \Omega^2 y dy - g dz) \quad (2.66)$$

Uni integrallab quyidagiga ega bo'lamiz:

$$p_A = \rho \left(\frac{\Omega^2 x^2}{2} + \frac{\Omega^2 y^2}{2} - gz \right) + C = \frac{\rho \Omega^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g z + C \quad (2.67)$$

S – integral doimiysini aniqlash uchun:

(2.67) ifodani koordinata boshida joylashtirilgan nuqta uchun yozamiz: unda $x = y = z = 0$; $p = p_0$; bo'ladi.

Demak:

$$C = p_0 \quad (2.68)$$

Bundan (2.67) quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$p_A = p_0 + \frac{\rho \Omega^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g z \quad (2.69)$$

Bu oxirgi tenglama qaralayotgan suyuqlikda bosim taqsimlanishini ifodalaydi. Bu tenglamadan foydalanib, teng bosimlar tekisligining vaziyatini aniqlash mumkin.

Haqiqatdan ham $p_A = p_i = \text{const}$ bo'lgan tekislik tenglamasini quyidagicha yozish mumkin.

$$\frac{\rho \Omega^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g z = p_i - p_0 \quad (2.70)$$

Bu tenglama *vertikal o'qli aylanish paraboloid tenglamasi* deb ataladi.

$p_i - p_0$ doimiy bosim bilan xarakterlanuvchi suyuqlik erkin sirti ham aylanish paraboloidi bo'lib quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{\rho\Omega^2}{2}(x^2 + y^2) - yz = 0 \quad (2.71)$$

Agar $x^2 + y^2 = z^2$ ekanligini inobatga olib, (2.71) tenglamani z ga nisbatan yechsak, AOV parabolani qurish uchun (erkin sirti) quyidagi tenglamani yozamiz.

$$z_0 = \frac{\Omega^2}{2g} r^2 \quad (2.72)$$

Bunda, z_0 – AOV egrilik ordinatasi.

Koordinatalar boshidan a kattalikka teng masofada yotuvchi MN gorizont tekislikdagi bosim taqsimlanishini (2.69) ifodadan foydalanib, quyidagicha yozamiz.

$$p_A = p_0 + \frac{\rho\Omega^2}{2}(x^2 + y^2) + \gamma a = p_0 + \frac{\rho\Omega^2}{2}r^2 + \gamma a = p_0 + \gamma \left(\frac{\Omega^2}{2g} r^2 + a \right) \quad (2.73)$$

(2.72) ifodani hisobga olib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$p_A = p_0 + \gamma(a + z_0) = p_0 + \gamma h \quad (2.74)$$

bunda, $h = a + z_0$ (2.14-chizmada ko‘rsatilgan).

Shunday qilib, *tekis, o‘z o‘qi atrofida aylanayotgan idishda joylashgan suyuqlikning bosimi, tinch holatdagi suyuqliklar qonuniyatlari bilan ifodalanar ekan.* Bu vaziyatda h kattalik qaralayotgan nuqtaning AOV egri chiziqli erkin sirdagi chuqurlik sifatida qaralishi kerak.

2.13. TEKIS SIRTGA TA’SIR ETUVCHI GIDROSTATIK BOSIM KUCHI. GIDROSTATIK PARADOKS

Endi, ma’lum qiyalikka ega bo‘lgan tekis sirtli, devorli (OM) usti ochiq suyuqlik bilan to‘ldirilgan idishni o‘rganamiz (2.17, a -rasm). Ox va Ou koordinatalar sistemasining o‘qlarini belgilab olamiz. Ox o‘qini rasm tekisligiga tik yo‘nalishda qabul qilamiz (2.17, b -rasm).

OM devorda ixtiyoriy ko‘rinishga ega bo‘lgan ω yuzani tanlab olamiz. Gidrostatik bosimning birinchi hossasiga asosan, bu yuzaga ta’sir etuvchi bosimlar unga tik yo‘nalgan bo‘ladi, demak, ixtiyoriy ko‘rinishdagi ω yuzaga ega bo‘lgan shaklga ta’sir etuvchi to‘liq gidrostatik bosim kuchi ham P_A bu yuzaga tik yo‘nalgan bo‘ladi. Bu kuchning kattaligini topish uchun shaklda ixtiyoriy m nuqtani tanlab olib, uning chuqurligi h va koordinatasini esa u deb qabul qilamiz. Bunda,

$$h = z \sin \theta \quad (2.75)$$

bunda, θ – idish yon devori qiyaligi

m – nuqta atrofida $d\omega$ yuzaga

$$dP_A = p_A d\omega, \quad (2.76)$$

kuch ta’sir etadi yoki (2.44) ga asosan:

$$dP_A = (p_a + \gamma h) d\omega = p_a d\omega + \gamma h d\omega = p_a d\omega + \gamma z \sin \theta d\omega. \quad (2.77)$$

Bu ifodani butun ω yuza bo‘ylab integrallaymiz.

$$P_A = p_a \int_{\omega} d\omega + \gamma \sin \theta \int_{\omega} z d\omega. \quad (2.78)$$

bundan:

$$\int_{\omega} d\omega = \omega ; \int_{\omega} z d\omega = (St)_{Ox} = z_C \omega \quad (2.79)$$

bunda, $(St)_{Ox}$ — tekis shaklning Ox o'qqa nisbatan statik momenti;

z_C – shaklning og‘irlik markazi koordinatasi.

(2.79) ifodani hisobga olib, (2.78) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$P_A = p_a \omega + \gamma \omega z_C \sin \theta. \quad (2.80)$$

bundan

$$z_G \sin \theta = h_G \quad (2.81)$$

bo‘lganligi uchun

$$P_A = p_a \omega + \gamma \hbar_C \omega \quad (2.82)$$

$$\boxed{P_A = (p_a + \mathcal{H}_C)\omega = \omega(p_A)_C} \quad (2.83)$$

bunda, h_C – og‘irlik markazi chuqurligi.

(2.82) ifodani quyidagicha ifodalash mumkin:

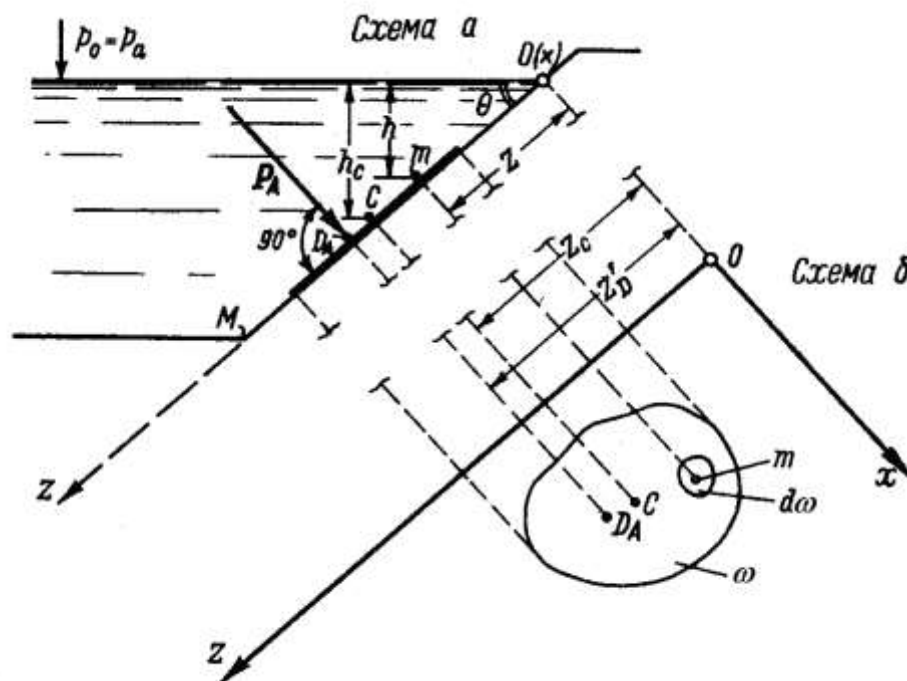
$$P_A = p_a \omega + \not{p}_C \omega = P_a + P_c \quad (2.84)$$

bunda, R_q – atmosfera bosimi ta'siri ostidagi gidrostatik bosim kuchi.

$$P_a = p_a \omega; \quad (2.85)$$

bunda, R – atmosfera bosimidan yuqori bo‘lgan (og‘irlik) bosim hisobiga paydo bo‘ladigan gidrostatik bosim kuchi.

$$P = \gamma \hbar_c \omega = p_c \omega. \quad (2.86)$$

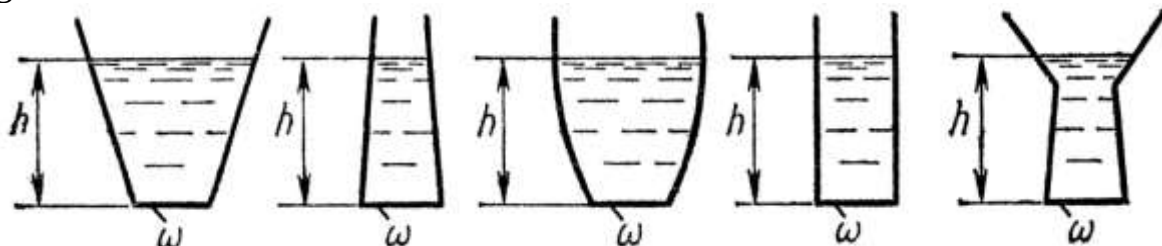


2.17-rasm. Yassi qiya sirtga ta'sir qiluvchi suyuqlik bosimi

Ta'kidlash lozimki, gidrotexnika amaliyotida barcha gidravlik hisoblashlarni bajarishda asosan suv tomonidan bo'layotgan aynan mana shu og'irlik gidrostatik bosim kuchi inobatga olinadi.

Shunday qilib, xulosa qilish mumkinki, gidrostatik bosim kuchi ta'sir etayotgan shakl yuzasi kattaligini shu shakl og'irlik markaziga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kattaligiga ko'paytmasiga teng. Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikni o'rganishda davom etamiz.

Shu o'rinda turli shaklga ega bo'lgan, idishlarga bir xil suyuqlik bir xil balandlikda solingan tublari ω kattalikka ega bo'lgan gorizonttal holatdagi yuzalardan iborat vaziyatda ularning tublariga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini o'rganishga fikrimizni qaratamiz. Bu yuzalarning barcha nuqtalari bir xil chuqurlikda joylashganligi sababli, ularga suyuqlik tomonidan o'zgarmas bir xil gidrostatik bosim ta'sir etadi.



2.18-rasm. Gidrostatik paradoksni tushuntirishga oid

Agar idishlarning qopqog'i bo'lmasa, ya'ni suyuqliklar erkin sirtga ega bo'lsa ($p_0 = p_a$), bu yuzalarga ta'sir etayotgan og'irlik gidrostatik bosim kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{oz} = \gamma h \omega = \rho g h \omega$$

Bu kuch suyuqlik tomonidan qarayotgan yuzalarga perpendikulyar yo'nalgan bo'lib, gidrostatik bosim yuzalar bo'yicha tekis taqsimlanganligi sababli, ta'sir chizig'i ularning og'irlik markazlarini kesib o'tadi. Yuqoridagi formulaga asosan, idish tubiga ta'sir etayotgan og'irlik gidrostatik bosim kuchi suyuqlik zichligi (ρ) ga, idish tubi yuzasi (ω) ga va idishning to'ldirilish balandligiga bog'liq. Bu $p_0 = p_a$, ρ , ω , h kattaliklar har bir idish uchun o'zaro teng bo'lsa, idishlarning shaklidan qat'iy nazar idishlar tubiga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchlari bir xil kattalikka teng bo'ladi. Bu gidrostatik paradoks deb ataladi (2.18-rasm).

Endi OM devorga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini o'rganishda davom etib, bu kuchning qo'yilish nuqtasini aniqlaymiz:

Yuqorida ta'kidlanganidek, R_A – to'liq gidrostatik bosim kuchi R_a va R kuchlar yig'indisiga teng.

R_a – gidrostatik bosim kuchining qo'yilish nuqtasi shaklning og'irlik markazi bilan ustma-ust tushadi.

R kuchniki esa, undan pastda, aytaylik, D nuqtada bo'ladi. R_A kuch-ning qo'yilish nuqtasi esa bu ikkalasining o'rtasida bo'ladi (2.19-rasm). Bu D nuqtani topish uchun R_a va R kuchlarni geometrik yig'indisini topamiz.

Shundan keyin D_A nuqtani topishga imkoniyat yaraladi. Buning uchun quyidagi qoidadan foydalanamiz. $pd\omega$ kuchlarning Ox o'qqa nisbatan momentlar yig'indisi R kuchning shu o'qqa nisbatan momentlar yig'indisiga teng.

Demak,

$$\int_{\omega} (pd\omega)z = Pz_D, \quad (2.87)$$

deb yozish mumkin yoki

$$\int_{\omega} (\gamma h d\omega)z = (\gamma h_C \omega)z_D. \quad (2.88)$$

To'liq ifodalasak,

$$\int_{\omega} (\gamma \sin \theta z d\omega)z = (\gamma \sin \theta z_C \omega)z_D \quad (2.89)$$

bundan,

$$z_D = \frac{\int_{\omega} z^2 d\omega}{\omega z_C} = \frac{I_{0x}}{(St)_{0x}} \quad (2.90)$$

bunda, Ox o'qqa nisbatan tekis shakl inersiya momenti

$$I_{0x} = \int_{\omega} z^2 d\omega \quad (2.91)$$

$(St)_{0x}$ – ho'llangan yuzaning ox o'qiga nisbatan statik momenti

$$(St)_{0x} = Sz_C. \quad (2.92)$$

Tekis shaklning statik momenti (2.90) ifodani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$z_D = \frac{I_{0x}}{(St)_{0x}} = \frac{I_C + \omega z_C^2}{\omega z_C} = z_C + \frac{I_C}{Sz_C} \quad (2.93)$$

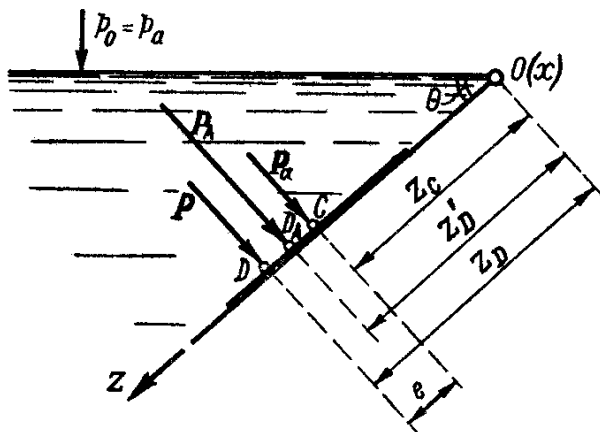
yoki

$$e = \frac{I_C}{(St)_{0x}} = \frac{I_C}{\omega z_C} \quad (2.94)$$

bunda, ye – *ekstsentrisset* deyiladi.

Kuchning qo'yilish koordinatasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\boxed{z_D = z_C + e} \quad (2.95)$$



2.19-rasm. Hidrostatik bosim kuchi

2.14. TRAPETSIYA SHAKLDAGI KO'RINISHGA EGA TEKIS SIRTLAGA TA'SIR ETUVCHI GIDROSTATIK BOSIM KUCHI

Gidrotexnika amaliyotida suv oqimini boshqarishda turli ko'rinishga ega to'siqlar keng qo'llaniladi. Shu sababli, ko'ndalang kesimi trapetsiya, to'rtburchak, uchburchak, doira shakldagi to'siqlarga ta'sir etayotgan kuchni aniqlash maqsadga

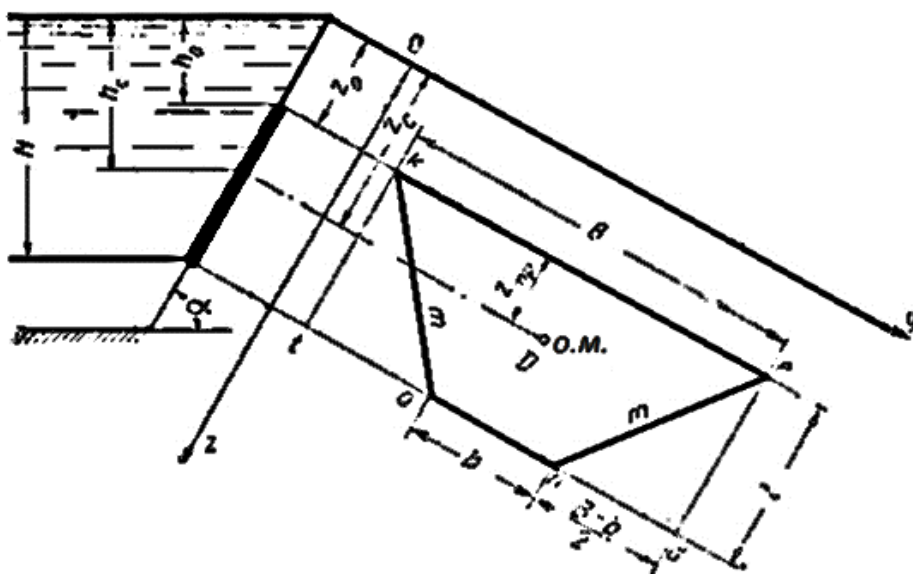
muvofigdir. Quyidagi 2.20-rasmda keltirilgan trapetsiya shaklidagi to'siqni qarab chiqamiz.

Shaklning yuqorigi asosi ordinatasini va balandligini yozamiz;

$$z_0 = \frac{h_0}{\sin \alpha} \text{ va } l = \frac{H - h_0}{\sin \alpha}$$

Trapetsiya shakldagi yuzaning yon tomondan qiyalik koeffitsientini yozamiz:

$$m = \frac{B - b}{2l}$$



2.20-rasm. Trapetsiya shaklidagi ko'rinishga ega tekis sirtga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi

l – shakl balandligi; B – shaklning yuqorigi tomondan kengligi; b – pastki tomondan kenligi; h_0 – shaklning suv ostidan chuqurligi; H – shakl asosi chuqurligi; α – shaklning gorizontal tekislikka nisbatan qiyaligi.

Endi bu kattaliklarni inobatga olib, trapetsioidal shakl yuzasi va uning u o'qqa nisbatan og'irlik markazini aniqlaymiz:

$$\omega = \frac{B + b}{2} l = \frac{B + b}{2} \frac{H - h_0}{\sin \alpha}$$

$$z_c = z_0 + z_{mp} = z_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \frac{l}{3}$$

bunda, z_{tr} – trapetsiyaning yuqorigi asosidan uning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa;

Og'irlik markazi chuqurligini aniqlash uchun oxirgi tenglamani $\sin \alpha$ ga ko'paytiramiz va quyidagiga ega bo'lamiz:

$$h_c = h_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \frac{H - h}{3}$$

Shaklga ta'sir etayotgan og'irlik gidrostatik bosim kuchini yozamiz:

$$P = \gamma h_c \omega_c = \gamma \left(h_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \frac{H - h}{3} \right) \left(\frac{B + b}{2} \frac{H - h_0}{\sin \alpha} \right)$$

yoki bu ifodani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$P = \gamma(H(B + 2b) + h_0(2B + b)) \left(\frac{H - h_0}{6 \sin \alpha} \right)$$

aken trapetsiyaning u o'qqa nisbatan inersiya momentini tke d to'rtburchakning inersiya momentidan tra $vaned$ uchburchaklar inersiya momentlari ayirmasi orqali aniqlashimiz mumkin.

$$I_D = \frac{Bl^3}{12} + Bl \left(z_0 + \frac{l}{2} \right)^2 - \left[\left(\frac{B-b}{36} \right)^3 + \frac{B-b}{2} l \left(z_0 + \frac{2}{3} l \right)^2 \right]$$

yoki

$$I_D = \frac{l^3}{12} (B + 3b) + \frac{lz_0^2}{2} (B + b) + \frac{lz_0^3}{3} (B + 2b)$$

Bu parametrlarni bilgan holda og'irlik markaz koordinatasini aniqlashimiz mumkin:

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{\frac{l^3}{12} (B + 3b) + \frac{lz_0^2}{2} (B + b) + \frac{l^2 z_0}{3} (B + 2b)}{\left[z_0 + \frac{B + 2b}{B + b} \frac{l}{3} \right] \cdot \left[\frac{B + b}{2} \frac{H - h_0}{\sin \alpha} \right]}$$

Ushbu formulalarda ordinatalarni chuqurliklar bilan almashtirishimiz mumkin:

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{\frac{(H - h_0)^3}{12 \sin^3 \alpha} (B + 3b) + \frac{(H - h_0) h_0^2}{2 \sin^3 \alpha} (B + b) + \frac{(H - h_0)^2 h_0}{3 \sin^3 \alpha} (B + 2b)}{\left[\frac{h_0}{\sin \alpha} + \frac{B + 2b}{B + b} \frac{H - h_0}{3 \sin \alpha} \right] \cdot \left[\frac{B + b}{2} \frac{H - h_0}{\sin \alpha} \right]}$$

Ayrim o'zgartirishlar kiritib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{(H - h_0) [H(B + 3b) + h_0(3B + 5b) + 6h_0^2(B + b)]}{2[h_0(B + 2b) + H(B + 2b)] \sin \alpha}$$

Agar $\alpha < 90^\circ$ va $h_0 = 0$ bo'lsa, gidrostatik bosim kuchini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$P = \gamma(B + 2b) \cdot \left(\frac{H - h_0}{6 \sin \alpha} \right)$$

Bunda quyidagi vaziyatni inbatga olsak,

$$B = b + 2m \frac{H - h_0}{\sin \alpha}$$

$$P = \gamma(2mH + 3b \sin \alpha) \cdot \left(\frac{H^2}{6 \sin^2 \alpha} \right)$$

Kuchning qo'yilish nuqtasini aniqlash formulasi quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{H}{2 \sin \alpha} \frac{B + 3b}{B + 2b}$$

yoki

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{H}{2 \sin \alpha} \frac{4b \sin \alpha + 2mH}{3b \sin \alpha + 2mH}$$

2.15. TO'G'RI TO'RTBURCHAK, UCHBURCHAK, DOIRA VA YARIM DOIRA SHAKLDAGI KO'RINISHGA EGA TEKIS SIRTLARGA TA'SIR ETUVCHI GIDROSTATIK BOSIM KUCHI

1. To'g'ri to'rtburchak shaklidagi ko'rinishga ega bo'lgan tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi kattaligi va qo'yilish nuqtasini aniqlash.

Agar $B = b$ (2.21-rasm).

$\alpha < 90^\circ$ va $h_0 > 0$ bo'lsa, to'g'ri to'rtburchak shakl bo'lib, gidrostatik bosim kuchini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$P = \gamma(3BH + 3bh_0) \cdot \left(\frac{H - h_0}{6 \sin \alpha} \right)$$

yoki

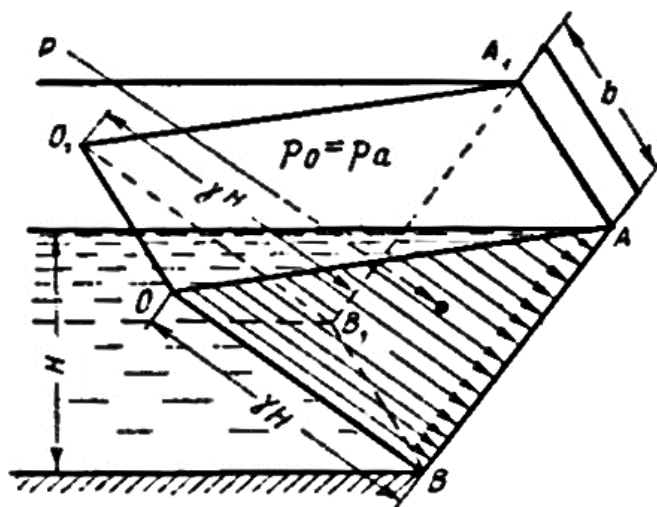
$$P = \gamma b \left(\frac{H^2 - h_0^2}{2 \sin \alpha} \right)$$

Kuchning qo'yilish nuqtasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{(H - h_0)(H4b + h_08b) + 12h_0^2b}{2(3h_0b + 3bH) \sin \alpha};$$

yoki

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{2}{3} \frac{H^2 + Hh_0 + h_0^2}{(h_0 + H) \sin \alpha};$$



2.21-rasm. To'g'ri to'rtburchak shaklidagi ko'rinishga ega tekis sirtga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi

$h_0 = 0$ bo'lganda formulalar ancha sodda ko'rinishga ega bo'ladi:

$$P = \gamma b \left(\frac{H^2}{2 \sin \alpha} \right)$$

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{2}{3} \frac{H}{\sin \alpha}$$

2. Uchburchak shaklidagi ko'rinishga ega bo'lgan tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi kattaligi va qo'yilish nuqtasini aniqlash.

Agar $b = 0$

$\alpha < 90^\circ$ va $h_0 > 0$ bo'lsa, uchburchak shakl bo'lib, unga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini quyidagicha aniqlash mumkin

$$P = \gamma (BH + 2Bh_0) \left(\frac{H - h_0}{6 \sin \alpha} \right)$$

yoki

$$P = \gamma B (H + 2h_0) \left(\frac{H - h_0}{6 \sin \alpha} \right)$$

$$B = b + 2m \frac{H - h_0}{\sin \alpha} \Rightarrow B = 2m \frac{H - h_0}{\sin \alpha}$$

munosabatni inobatga olsak,

$$P = \gamma m (H + 2h_0) \left(\frac{(H - h_0)^2}{3 \sin^2 \alpha} \right)$$

Kuchning qo'yilish nuqtasini aniqlash formulasini yozamiz:

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{(H - h_0) (HB + 3h_0 B) + 6h_0^2 B}{2 (2h_0 B + BH) \sin \alpha};$$

yoki

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{H^2 + Hh_0 + 3h_0^2}{2(2h_0 + H) \sin \alpha};$$

$h_0 = 0$ bo'lganda tabiiyki ifodalarning ko'rinishi soddalashadi:

$$P = \gamma m \left(\frac{H_0^3}{3 \sin^2 \alpha} \right)$$

$$z_D = \frac{I_D}{\omega h_c} \sin \alpha = \frac{I_D}{z_c \omega} = \frac{H}{2 \sin \alpha}.$$

3. Doira shaklidagi ko'rinishga ega bo'lgan tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi kattaligi va qo'yilish nuqtasini aniqlash.

Ushbu shakldagi ko'rinishga ega bo'lgan tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchining kattaligini va uning qo'yilish nuqtasini aniqlash formulalarini geometrik tushunchalarga asoslanib, quyidagi ko'rinishda ifodalashimiz mumkin:

Agar $\alpha = 90^\circ$ va $h_0 > 0$ bo'lsa (2.22-rasm), doira shaklidagi ko'rinishga ega bo'lgan tekis sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$P = \gamma \pi r^2 (r + h_0)$$

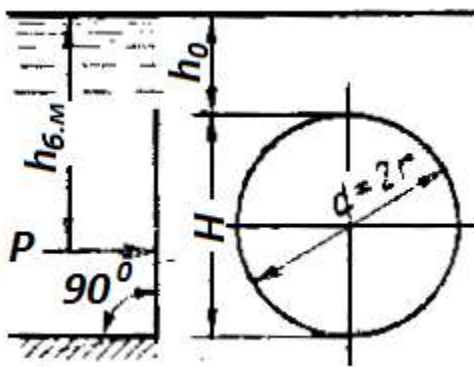
Gidrostatik bosim kuchining qo'yilish nuqtasini aniqlaymiz:

$$z_D = h_D = h_0 + r + \frac{r^2}{4(r + h_0)}$$

Agar $h_0 = 0$ bo'lsa,

$$P = \gamma \pi r^3$$

$$z_D = h_D = h_0 + r + \frac{r}{4} = \frac{5}{4}r$$

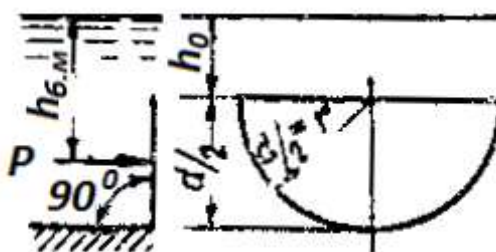


2.22-rasm. Doira shaklidagi ko'rinishga ega tekis sirtga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi

4. Yarim doira shaklidagi ko'rinishga ega bo'lgan tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi kattaligi va qo'yilish nuqtasini aniqlash.

Yarim doira shaklidagi o'rinishga ega bo'lgan tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi kattaligi va qo'yilish nuqtasini aniqlashda ayrim cheklanishlardan foydalanamiz

Agar $\alpha = 90^\circ$ va $h_0 > 0$ bo'lsa (2.23-rasm), yarim doira shaklidagi ko'rinishga ega bo'lgan tekis sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini quyidagicha aniqlash mumkin:

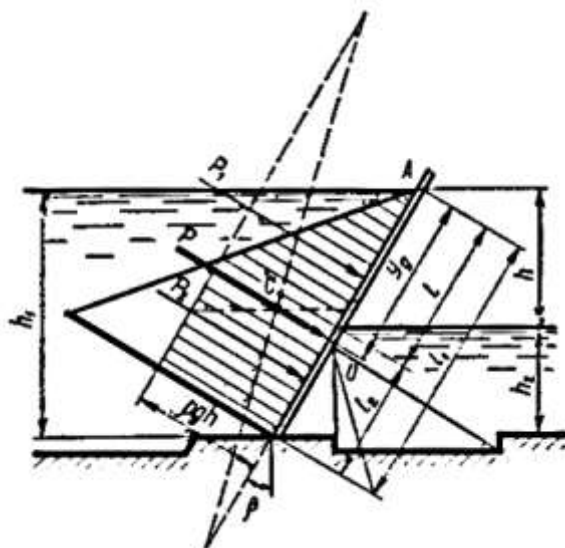


2.23-rasm. Yarim doira shaklidagi ko'rinishga ega tekis sirtga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi

$$P = \frac{1}{6} \gamma r^2 (4r + 3\pi h_0)$$

Gidrostatik bosim kuchining qo'yilish nuqtasini aniqlaymiz:

$$z_D = h_D = \frac{3\pi r^2 + 12\pi h_0^2 + 32rh_0}{4(4r + 3\pi h_0)}$$



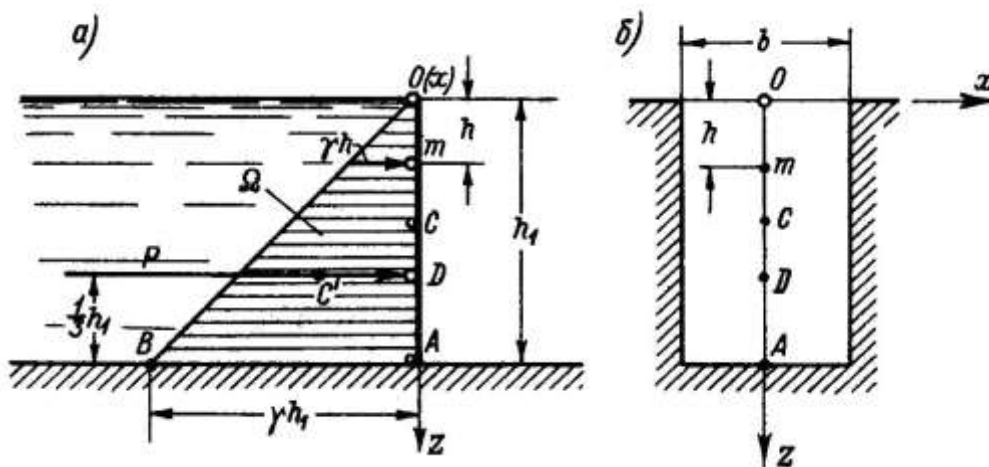
2.24-rasm. Burchak ostida joylashgan to'siqning
ikki tomonidan ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi

2.16. TO'RTBURCHAK KO'RINISHDAGI TEKIS SHAKLLARGA TA'SIR ETUVCHI GIDROSTATIK BOSIM KUCHINI ANIQLASHNING GRAFOANALITIK USULI

Buning uchun OA ko'rinishdagi b kenglikka ega bo'lgan shaklni qabul qilamiz (2.25, a-rasm). Bunda atmosfera bosimi hisobiga paydo bo'ladigan gidrostatik bosim kuchini hisobga olmasak, faqat og'irlik hisobiga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchini qarashga to'g'ri keladi. Ixtiyoriy m chuqurlikda

$$p = \gamma h \quad (2.96)$$

bosim mavjud bo'ladi.



2.25-rasm. To'g'ri burchakli vertikal sirtli tekis jismga bir tomonlama
gidrostatik bosimning ta'siri

0 nuqtada esa bu bosim

$$p = 0 \quad (2.97)$$

ga teng bo‘ladi. h_1 chuqurlikda esa

$$p = \gamma h_1 \quad (2.98)$$

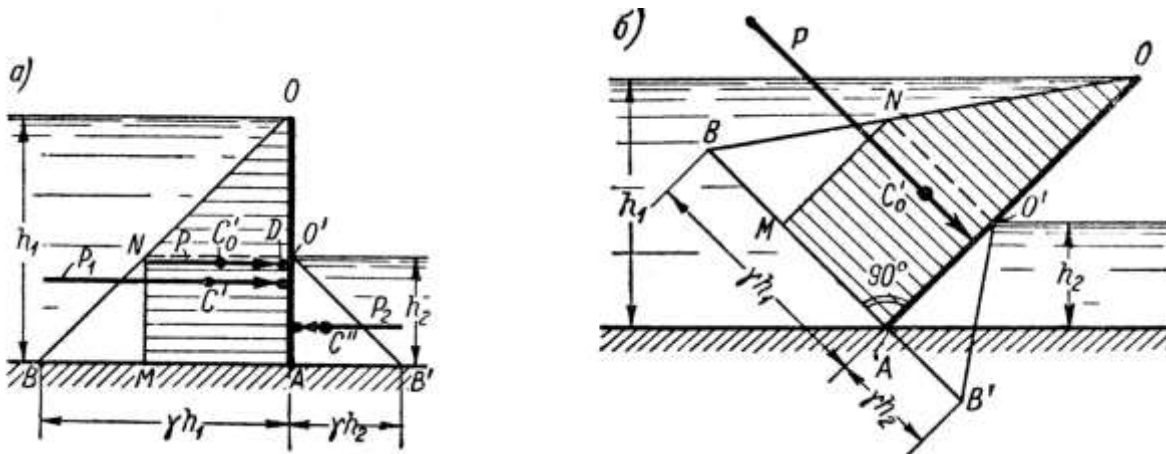
ga teng bo‘ladi.

γh_1 kattalikni OA devorga tik yo‘nalishda qo‘ysak (2.25, b-rasm), V nuqta paydo bo‘ladi, buni O nuqta bilan tutashtirsak, OAV uchburchak paydo bo‘ladi. Natijada olingan bu uchburchak *gidrostatik bosim epyurasi* deb ataladi. Bu epyura chuqurlik o‘zgarishi bilan gidrostatik bosimning o‘zgarishini ko‘rsatadi.

Gidrostatik bosim kuchi – bosim epyurasining hajmiga, ya’ni, shu uchburchak yuzasini b kenglikka ko‘paytmasi bizga R kuch kattaligini beradi.

$$P = W = \Omega b = \frac{1}{2} h_1^2 \gamma b \quad (2.99)$$

R kuch OA devorga tik yo‘nalgan bo‘lib, gidrostatik bosim epyurasi og‘irlik markazidan o‘tadi. Agar to‘siqning ikkala tomonida suyuqlik mavjud bo‘lsa, gidrostatik bosimlar farqi aniqlanib, ularning og‘irlik markazidan gidrostatik bosim kuchining teng ta’sir etuvchisi o‘tadi. 2.26, b-rasmda $OAMN$ trapetsiyaning og‘irlik markazidan o‘tadi.



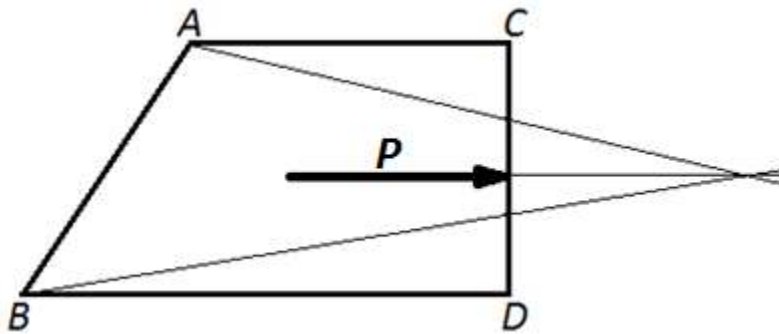
2.26-rasm. To‘g‘ri burchakli tekis shakllarning bosim epyurasi

a) vertikal shakl; b) qiya shakl

2.17. TRAPETSIYA OG‘IRLIK MARKAZINI ANIQLASH USULLARI

$ABCD$ trapetsiya og‘irlik markazini aniqlashda quyidagi usullardan foydalanish mumkin:

- $ABCD$ trapetsiya (2.27-rasm) og‘irlik markazini aniqlash uchun quyidagicha ish bajariladi:
 - a) uning vertikal CD tomoni teng uch bo‘lakka bo‘linadi;
 - b) qarama-qarshi burchaklardan, o‘ziga yaqin bo‘lingan nuqtalarga nurlar yo‘naltiriladi;
 - c) bu nurlar kesishgan nuqtaga teng gorizontall tekislik o‘tkaziladi;
 - d) bu tekislikni sirt bilan kesishgan nuqtasiga, gidrostatik bosim kuchining teng ta’sir etuvchisi qo‘yladi;



2.27-rasm. Trapetsiya shaklidagi gidrostatik bosim epyurasi og'irlik markazini aniqlash.

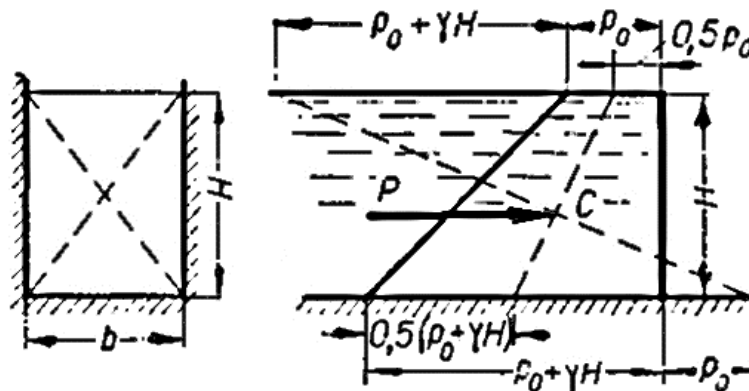
- Bundan tashqari, trapetsiya shaklini og'irlik markazini aniqlashda quyidagi formulalardan foydalanishimiz mumkin:

$$d = \frac{h}{3} \cdot \frac{2a + b}{a + b}$$

yoki

$$d - h = \frac{h}{3} \cdot \frac{2b + a}{a + b}$$

bunda, D kuchning qo'yilish nuqtasi, a, b trapetsioidal shaklning kichik va katta asoslari.

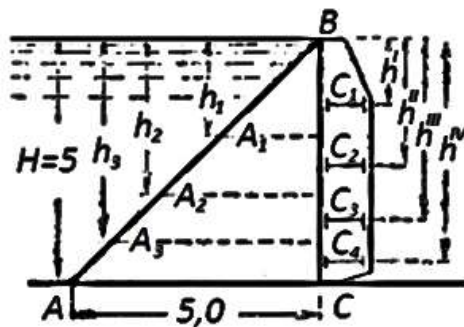


2.28-rasm. Trapetsiya shaklidagi gidrostatik bosim epyurasi og'irlik markazini aniqlash

2.18. TEKIS SIRT SHAKLIDAGI VERTIKAL TO'SIQNI BIR XIL GIDROSTATIK BOSIM TA'SIR ETADIGAN BO'LAKLARGA AJRATISH

Gidrotexnika amaliyotida suv oqimining boshqarishda temir materialidan yasalgan harakatlanuvchi to'siqlardan keng foydalaniladi. Ushbu to'siqlar vertikal ustunlarga turli chuqurliklarda gorizontall rigellar va ustunga qalin metallardan iborat materiallar qoplash bilan yasaladi. Mana shu rigellar shunday chuqurliklarda ustunlarga qadalishi kerakki, ularga suv tomonidan ta'sir etayotgan gidrostatik bosim ta'siri bir maromda taqsimlanishi kerak.

Umumiy balandligi $H=VS$ bo'lgan, to'siqqa ta'sir etuvchi gidrostatik bosim AVS shakldagi gidrostatik bosim epyurasi orqali ifodalanadi (2.29-rasm).



2.29-rasm. Gidrotexnik inshootlarda oqimni boshqarishda qo'llaniladigan to'siqni mustahkamligini ta'minlash uchun o'rnatiladigan rigellarning joylashtirilish vaziyatlarini aniqlash

Bu shakl uchburchak ko'rinishida bo'lganligi uchun asoslash mumkinki, gidrostatik bosim bir xil taqsimlanadigan chegaralar shu uchburchakni teng uchga bo'luvchi va uning asosiga parallel bo'lgan chiziqlarda yotadi. Regellar soni uchta bo'lishini inobatga olib, AVS gidrostatik bosim epyurasini teng uchga bo'lamiz va chegara chiziqlari joylashgan chuqurliklar (h_1, h_2) ni elementar geometriya qoidalarida foydalanib aniqlaymiz:

- a) birinchi A_1VS_1 uchburchak bilan asosiy AVS uchburchak va birinchi uchburchak asosining chuqurligi (h_1) asosiy AVS uchburchak chuqurligi o'rtasidagi quyidagi munosabatlarni yozish mumkin:

$$\frac{\Omega_1}{\Omega} = \frac{h_1^2}{H^2} = \frac{1}{3}$$

bundan,

$$h_1 = H \sqrt{\frac{1}{3}}$$

- b) ikkinchi uchburchakning asosi joylashgan chuqurlikni ham yuqorida keltirilgan elementar geometriya qoidasiga asosan aniqlaymiz:

$$\frac{\Omega_2}{\Omega} = \frac{h_2^2}{H^2} = \frac{2}{3}$$

bundan,

$$h_2 = H \sqrt{\frac{2}{3}};$$

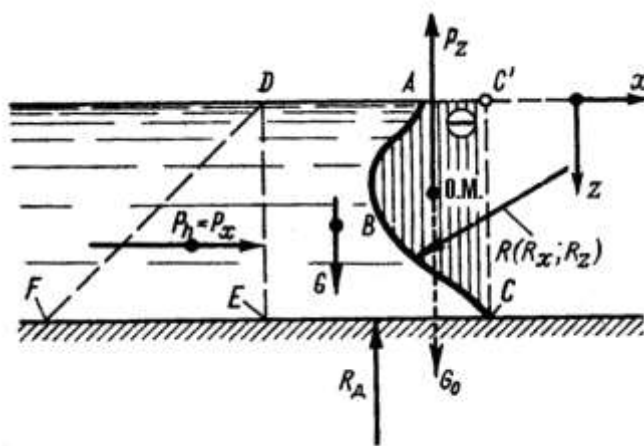
- c) endi uchta rigelning joylashish vaziyati (h'_D, h''_D, h'''_D) ni aniqlaymiz, buning uchun A_1BC_1 uchburchakning $A_1C_1A_2C_2$ va ACA_2C_2 trapetsiyalarning og'irlik markazlarini aniqlashimiz kerak, chunki gidrostatik bosim kuchi doimo ta'sir etayotgan yuzaga tik yo'nalib, gidrostatik bosim epyurasi og'irlik markazidan o'tadi;
- d) A_1BC_1 uchburchakning og'irlik markazi uning medianalarining kesishgan nuqtasida bo'ladi, medianalar o'tkazib, uni aniqlaymiz;
- e) ACA_2C_2 trapetsiyalarning og'irlik markazlarini aniqlash uchun yuqoridagi mavzuda keltirilgan usullardan foydalanamiz.

2.19. EGRI SIRTLAGA TA'SIR ETUVCHI GIDROSTATIK BOSIM KUCHI. BOSIM TANASI VA UNI QURISH QOIDALARI

Gidrotexnika amaliyotida ixtiyoriy shakldagi egri sirtlarga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchlarini hisoblashga to'g'ri keladi. Bunda gidrostatik bosimning atmosfera bosimidan yuqori bo'lgan miqdorini aniqlash maqsadga muvofiq deb hisoblaymiz, ya'ni faqat suyuqlikning sirtga ta'sirini o'rganamiz.

Buning uchun 2.30-rasmda ko'rsatilgan AVS egri sirtga ta'sirni ko'rib chiqamiz. Egri sirt rasm tekisligiga perpendikulyar bo'lganligi sababli, AVS egri chiziqli shaklida ko'rinadi, bunda sirt kengligi b ($b=const$).

CC' vertikal tekislikni va x, u koordinata o'qlarini belgilab olamiz. Egri sirtga suyuqlik tomonidan ta'sir etayotgan R gidrostatik bosim kuchining gorizontaal va vertikal tashkil etuvchilarini R_x va R_z deb belgilab olamiz. DE vertikal tekislikni o'tkazib, $ABCED$ suyuqlik hajmini belgilab olamiz. Bu hajmga ta'sir etayotgan kuchlarni aniqlaymiz:



2.30-rasm

1. DE qirraga chap tomondagi suyuqlik tomonidan ta'sir etayotgan kuch $-R_h$;
2. O'zanning EC qismidan ta'sir etayotgan kuch $-R_d$;

$$R_d = [(C'CED)_{yuza}]b\gamma$$
3. Egri sirt tomonidan ta'sir etayotgan reaksiya R (R_x, R_z) kuchi (gorizontaal va vertikal tashkil etuvchilarga ega);
4. Qaralayotgan suyuqlikning og'irlik kuchi $-G$:

$$G = [(ABCDE)_{yuza}]b\gamma$$

$ABCED$ hajmga ta'sir etayotgan bu kuchlarning x va u o'qlarga proektsiyalarining muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$P_h + R_x = 0; \quad G + R_z - R_d = 0,$$

bundan,

$$R_x = -P_h; \quad R_z = R_d - G.$$

chunki ,

$$P_x = -R_x; \quad P_z = -R_z,$$

demak,

$$P_x = P_h; \quad P_z = -(R_d - G).$$

Bu tenglamaga asosan:

$$P_z = -[(C'CED)_{yuza} - (ABCED)_{yuza}]b\gamma$$

yoki

$$P_z = -[(ABCC')_{yuza}]b\gamma = -G_{\bar{o}m}$$

- gorizontal tashkil etuvchisi R_x – shu sirtning o‘ziga tik bo‘lgan vertikal tekislikka ta’sir etuvchi gidrostatik bosim kuchiga qiymat jihatdan teng:

$$P_x = p_C \omega = \Omega_{\bar{o}n.} = \frac{\gamma h^2}{2} b \quad (2.100)$$

- vertikal tashkil etuvchisi R_z – shu sirtning bosim tanasidagi suyuqlik og‘irligiga teng:

$$P_z = G_{bt} = \gamma W_{bt} = \gamma S_{bt} b \quad (2.101)$$

bu yerda: γ – suyuqlikning hajmiy og‘irligi;

h – chuqurlik;

W_{bt} – bosim tanasining hajmi;

S_{bt} – bosim tanasining yuzasi.

Bosim tanasi deb, egri sirt, uning tutash chiziqlaridan suv sathiga tushirilgan vertikal tekisliklar hamda suv sathi bilan chegaralangan hajmga aytiladi.

Egri sirtga ta’sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi bu ikkala tashkil etuvchilarning geometrik yig‘indisidan iborat:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \quad (2.102)$$

Kuchning gorizontal o‘qqa nisbatan qiyaligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$\alpha = \arctg \frac{P_z}{P_x} \quad (2.103)$$

Egri sirtga ta’sir etuvchi gorizontal bosim kuchi ta’sir chizig‘i uning ikkala tashkil etuvchini kesishish nuqtasi va sirtning egrilik nuqtasidan o‘tadi.

Demak, yukorida bayon etilgan fikrlarga asosan, egri sirtlarga ta’sir etuvchi gidrostatik bosim kuchini aniqlashda egri sirtning bosim tanasi muhim rol o‘ynaydi. Shu sababli, uni qurish qoidasi bilan tanishamiz.

- egri sirtning tutash nuqtalari topiladi;*
- tanlangan nuqtalardan suv sathigacha yoki sath davomigacha vertikal chiziqlar o‘tkazamiz;*
- egri sirt – vertikal chiziqlar va sath bilan chegaralangan yuza bosim tanasi yuzasi bo‘ladi;*
- agar bosim tanasida suv mavjud bo‘lsa, u musbat bosim tanasi deyiladi va vertikal tashkil etuvchi gidrostatik bosim kuchi pastga yo‘nalgan bo‘ladi, aks xolda, manfiy bosim tanasi deyiladi xamda kuch yuqoriga yo‘nalgan bo‘ladi.*
- gidrostatik bosim kuchi – vertikal tashkil etuvchisi, shu sirt bosim tanasining og‘irlik markazidan o‘tadi.*

2.20. AYLANA SHAKLDAGI QUVUR ICHIDAN TA'SIR ETUVCHI GIDROSTATIK BOSIM KUCHI

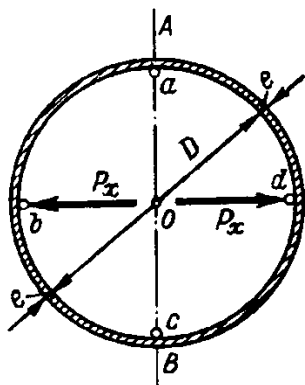
Dumaloq shakldagi quvurlardagi suyuqliklarning quvur devorlariga bo'lgan gidrostatik bosim kuchini o'rganamiz. 2.31-rasmda suyuqlik bilan to'ldirilgan gorizontal quvo'rning ko'ndalang kesimi ko'rsatilgan.

Agar $\frac{D}{2} \gamma$ ni r ga nisbatan nihoyatda kichikligini hisobga olsak, butun kesim bo'ylab bosimni $p = \text{const}$ deb qabul qilish mumkin.

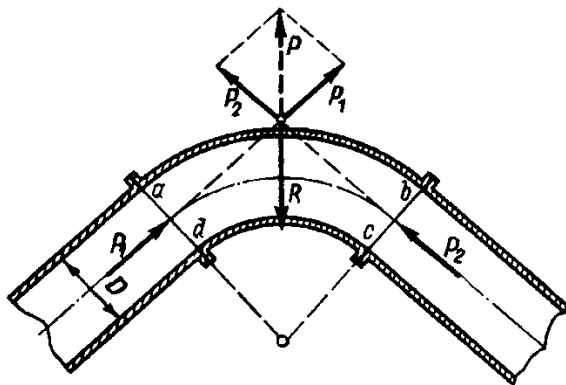
Bu bosim ta'sirida AV o'q bo'ylab quvur bo'linadi, deb faraz qilsak, bunda mustahkamlikni ta'minlovchi R_x kuchni bilishimiz kerak. Bu kuch abc yoki adc tsilindrik shakldagi sirtga ta'sir etuvchi kuchga teng:

$$P_x = Dlp \quad (2.104)$$

bunda, l – quvur uzunligi. R_x kuch ikkiga bo'linib, yo'nalganligi uchun quvur qalinligi aniqlanayotganda $P_x/2$ kuch qabul qilinib, hisob olib boriladi. Bundan tashqari, quvur buqilgan holatda ham bo'lishi mumkin. Masalan, $abcd$ quvur (2.32-rasm).



2.31-rasm. Ichki gidrostatik bosim (R_x)



2.32-rasm. Quvo'rning egilgan nuqtasiga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim

Bu shakldagi quvur R kuch yo'nalishida buqilishga intiladi. Gidrostatik bosim kuchi ikki gidrostatik bosim kuchi ayirmasi bilan aniqlanadi. ab yo'nalishga ta'sir etuvchi P_1 va cd yo'nalishga ta'sir etuvchi P_2 kuchlar. Demak, quvo'rning bu qismi

$$P_1 = \frac{\pi D^2}{4} p \quad \text{va} \quad P_2 = \frac{\pi D^2}{4} p \quad (2.105)$$

va reaksiya kuchlari ($|R| = |P|$) ta'siri ostida muvozanat holatida bo'ladi. P_1 va P_2 kuchlarning geometrik yig'indisidan, asosan, anker tayanchlarini joylashtirish vaziyatlarini aniqlashda foydalaniladi.

2.21. ENG SODDA GIDRAVLIK MASHINALAR

Mashinasozlik amaliyotida ko'pgina hollarda, bosimni uzatishda suyuqliklardan foydalaniladi. Bunday printsipda ishlatiladigan uskunalar –

gidravlik mashinalar deyiladi. Gidravlik presslar, multiplikatorlar, gidravlik mashinalar boshqaruv sistemalari, ko'targichlar, domkratlar shular jumlasiga kiradi.

Har xil konstruksiyaga ega bo'lgan va turli yo'nalishlarda ishlatiladigan bu mashinalarda, asosan, bir xil ifodaga asoslangan qonuniyatdan foydalaniladi. Suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasiga uzatilgan tashqi bosim – uning boshqa hamma nuqtalariga o'zgarmasdan uzatiladi.

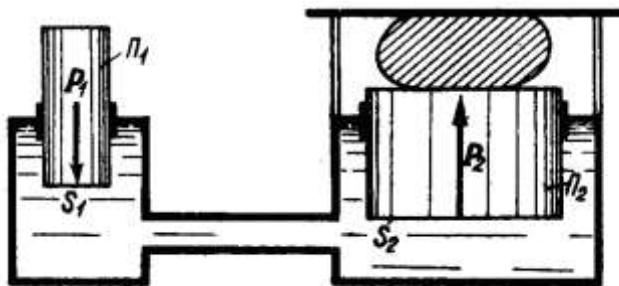
Yuqorida qayd etilgan mashinalarning ayrimlari bilan tanishamiz.

2.33-rasmda gidravlik press tasvirlangan. Yuqoridagi qoidaga asosan ω_1 yuzali Π_1 porshenga P_1 kuch qo'yilsa, ω_2 yuzali Π_2 porshen quyidagi kuch bilan yuqoriga ta'sir etadi.

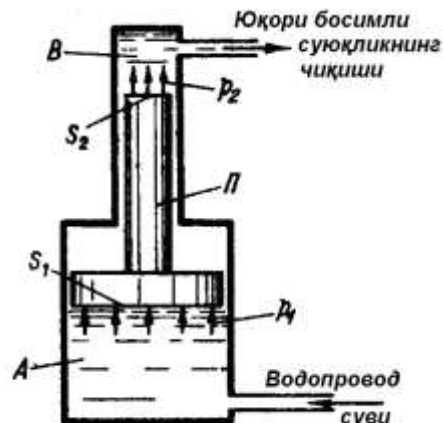
$$P_2 = P_1 \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (2.106)$$

chunki,

$$\frac{P_1}{\omega_1} = \frac{P_2}{\omega_2} = p \quad (2.107)$$



2.33-rasm. Gidravlik press



2.34-rasm. Multiplikator

Bu asbob yordamida P_1 kuch ($\omega_2 : \omega_1$) marta oshiriladi. Amaliy hisoblarda qurilmaning harakatchan qismlari ishqalanishi ham hisobga olinadi.

2.34-rasmda esa multiplikator tasvirlangan, agar A kamerada p_1 bo'lsa, V kameradagi p_2 bosim ajratilsa, quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$p_2 \omega_2 = p_1 \omega_1 \quad (2.108)$$

bunga asosan,

$$p_2 = p_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2.109)$$

qurilma yordamida bosim ($\omega_1 : \omega_2$) marotaba oshiriladi.

II BOBGA DOIR TEST-NAZORAT SAVOLLARI

1. Hidrostatik bosim nima?

a) Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning yuzasiga ta'sir etayotgan kuchning shu yuza kattaligiga nisbati gidrostatik bosim deb ataladi.

b) Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning yuzasiga ta'sir etayotgan kuch gidrostatik bosim deb ataladi.

c) Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning yuzasiga ta'sir etayotgan kuch suyuqlik hajmiga nisbati gidrostatik bosim deb ataladi.

d) Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning yuzasiga ta'sir etayotgan kuchning shu yuza kattaligiga nisbati gidrostatik bosim deb ataladi.

2. Bu ifodalar $\frac{H}{m^2} = \Pi a$, $\frac{kg}{ms^2}$, **KPa**, **m** suv ustuni, **mm** simob ustuni qaysi kattalikning o'lchov birligi?

a) Suyuqlik sarfining;

b) Shezi koeffitsientining;

c) Oqim tezligining;

d) Hidrostatik bosimning ;

3. Erkin sirt hamma vaqt gorizontal bo'ladimi?

a) Absolyut bosim atmosfera bosimiga teng bo'lsa;

b) Bo'lmaydi;

c) Hamma vakt;

d) To'g'ri javob yuk;

4. Hidrostatika bo'limi nimani o'rgatadi?

a) Suyuqlik harakat qonunlarini o'rgatadi

b) Suyuqlikning nisbiy tinch holat – muvozanat qonunlarini o'rganib, ularni kishilar jamiyatining faoliyatiga qo'llash uchun uslubiyatlar yaratadi;

c) Suyuqliklarni xossalarni o'rganib, texnikaga tadbiq etishni o'rgatadi;

d) Muvozanatdagi suyuqlikka ta'sir etuvchi kuchlarni o'rgatadi.

5. Qanday tekislikka teng bosimlar tekisligi deyiladi?

a) Suyuqlikning ixtiyoriy chuqurligidagi birxil bosimlar mavjud nuqtalardan o'tkazilgan tekislikka teng bosimlar tekisligi deyiladi;

b) Suyuqlikning idish yon devorlari bilan chegaralangan tekislikka teng bosimlar tekisligi deyiladi;

c) Suyuqlikning idish tubi bilan chegaralangan tekislikka teng bosimlar tekisligi deyiladi;

d) Suyuqlikning devor bilan chegaralangan tekislikka teng bosimlar tekisligi deyiladi

6. Qaysi ifoda teng bosimlar tekisligi tenglamasini ifodalaydi?

a) $\phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz = 0$;

b) $\phi_x dx - \phi_y dy - \phi_z dz = 0$;

c) $\phi_x dx + \phi_y dy - \phi_z dz = 0$;

d) $\phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz = 1$.

7. Hidrostatik bosim kiymati yunalishga bog'liqmi?

- a) Xa, bog'liq;
- b) Yo'q, bog'liq emas;
- c) Bazan bog'liq, bazan yo'q;
- d) Harakat mavjud bo'lganda.

8. Suyuqlikning ixtiyoriy nuqtasidagi bosimni qaysi formula orqali hisoblash mumkin?

- a) $p = p_0 + gh$
- b) $p = p_0 + h$
- c) $p = pgh$
- d) $P = p_0 + pgh$

9. Manometrik bosim deb kanday bosimga aytiladi?

- a) Atmosfera bosimidan katta bo'lgan bosimga;
- b) Atmosfera bosimidan kichik bo'lgan bosimga;
- c) Atmosfera bosimga teng bo'lgan bosimga;
- d) Suyuqlik markaziga ta'sir qiluvchi bosimga.

10. Qachon mano-vakuumetrik ko'rsatkich "nolga" ga teng bo'ladi?

- a) $P_{abs} = P_{at}$
- b) $P_e = P_{atm}$
- s) $P_{abs} = 0$
- d) $P_m = P_{atm}$

11. Tutash idishlar qonunini ifodalash uchun qaysi formula to'g'ri?

- a) $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$;
- b) $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$;
- s) $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$;
- d) $h_1 \gamma_2 = h_2 \gamma_1$

14. Vakuumetrik bosim deb kanday bosimga aytiladi?

- a) Atmosfera bosimidan katta bo'lgan bosimga;
- b) Atmosfera bosimidan kichik bo'lgan bosimga;
- c) Atmosfera bosimga teng bo'lgan bosimga;
- d) Suyuqlik markaziga ta'sir qiluvchi bosimga.

15. Hidrostatik bosim kuchi qanday aniqlanadi?

- a) $P = p_c \rho$;
- b) $R = \gamma h_S S = r_S S$;
- s) $R = \gamma r_S S$;
- d) $R = \rho h_S S$.

16. Egri sirtga ta'sir etayotgan gidrostatik bosim kuchini aniqlanish formulalarini yozing.

a) $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$; $P_x = p_c \omega = \Omega_{\text{eng}} = \frac{\gamma h^2}{2} b$; $P_z = G_{bt} = \gamma W_{bt} = \gamma S_{bt} b$;

b) $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$; $P_x = p_c \rho = \Omega_{\text{eng}} = \frac{\gamma h^2}{2} \rho$; $P_z = G_{bt} = \rho W_{bt}$;

c) $P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$; $P_x = \frac{\gamma h}{2} b \omega$; $P_z = G_{bt} \rho$;

d) $P = p_c \omega = \Omega_{\text{eng}} = \frac{\gamma h^2}{2} b$; $P = G_{bt} = \gamma W_{bt} = \gamma S_{bt} b$.

17. Gidravlik press yordamida bosimning oshishi formulasini aniqlang.

a) $p_2 = p_1 \frac{S_2}{S_1}$; b) $p_2 = p_1 \frac{S_1}{S_2}$; c) $p_2 = \rho p_1 \frac{S_1}{S_2}$; d) $p_2 = p_1 \frac{S_1}{S_2} \gamma$.

18. Eyler tenglamasini yozing.

$$a) \begin{cases} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 1 \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 1 \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 1 \end{cases} b) \begin{cases} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{cases} c) \begin{cases} \phi_x - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ \phi_y - \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ \phi_z - \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{cases} d) \begin{cases} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \end{cases}$$

19. Arximed qonunini yozing.

- a) $G = P = \gamma W$; c) $G = \gamma \omega$;
b) $F = \gamma WS$; d) $F = m\nu$.

20. Hidrostatik paradokc deb nimaga aytiladi?

- a) Suyuqlikdagi bosim idishning shakliga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi;
b) Suyuqlikdagi bosim uning shakliga va xajmiga emas, balki chuqurligiga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi;
c) Suyuqlikdagi bosim idishning shakliga va xajmiga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi;
d) Suyuqlikdagi bosim idishni xajmiga bog'liq bo'lish xodisasi gidrostatik paradokc deyiladi.

21. Paskal qonunini ko'rsating.

- a) $\Delta p = \Delta p_0$; c) $P = p_c \rho$;
b) $R = \gamma h_S S = r_S S$; d) $R = \gamma r_S S$;

22. Tutash idishlar qonuni qaysi javobda to'g'ri ko'rsatilgan?

- a) $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$ b) $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}$ c) $\frac{h_1}{h_2} = 1$ d) $\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = 0$

23. Pezometrik balandlik to'g'ri ko'rsatilgan javobni aniqlang.

- a) $h_A = \frac{p_A}{\gamma}$ b) $p_A = p_0 + \gamma h$ c) $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$ d) $p_A = \gamma h$

III bob. TEXNIK GIDRODINAMIKA ASOSLARI

3.1. GIDRODINAMIK VA GIDROMEXANIK BOSIMLAR TEXNIK GIDRODINAMIKA MASALALARINING UMUMIY QO'YILISHI

Suyuqlik oqimining harkatini o'rganishda asosan ikki xil masalaga duch kelishimiz mumkin:

- 1) Tashqi masala, ya'ni oqim parametrlari ma'lum bo'lib, suyuqlik aylanib oqib o'tayotgan, qattiq jismga ta'sir etayotgan kuchni aniqlash kerak bo'ladi, bu *tashqi masala* deyiladi;
- 2) Suyuqlikka ta'sir etayotgan kuchlar ma'lum bo'lib (hususdan hajmiy kuchlar, masalan og'irlik kuchi), oqimning *gidrodinamik xarakteristikasini* aniqlash ta'lab qilindi. Bu *ichki masala* deyiladi.

Oqimning gidrodinamik xarakteristikasi tarkibiga suyuqlik zarrachasi *tezligi* u va bizga oldingi mavzudan ma'lum bo'lgan bundan keyin *gidrodinamik bosim* deb ataluvchi kattalik r kiradi. Oxirgi kattalikni bu nom bilan atalishiga sabab, endi bu kattalik gidrostatik bosim bilan birga, harakat hisobiga paydo bo'ladigan bosimni ham o'ziga oladi.

«Gidrodinamik bosim» tushunchasi gidrodinamikada asosiy tushunchalardan biri hisoblanadi.

Gidrodinamik bosim. Bizga ma'lumki, suyuqlik harakatlanishi natijasida unda τ urinma kuchlanishlarni hosil qiluvchi ishqalanish kuchlari paydo bo'ladi. Shuning uchun harakatlanayotgan suyuqlikning M nuqtasidagi kuchlanganlik holati ellipsoid shaklida bo'lsa, gidrostatikadagi «shar shaklidagi kuchlanish» (3.1, *b-rasm*) ko'rinishida emas, balki uch o'lchamli holatda, ikki o'lchamli holatda esa ellips shaklidagi kuchlanganlik ko'rinishida (3.1, *a-rasm*) ifodalanadi.

Shu mulohazaga asosan ta'kidlash mumkinki, σ_n – kuchlanishning vertikal tashkil etuvchisi kattaligi real holatdagi harakat vaqtida ta'sir etayotgan yo'nalishiga ham bog'liqdir.

Demak, gidrodinamikada ta'sir maydoniga qarab, bu kattalik qiymati har hil bo'ladi. Shu bilan birga, gidrodinamikada masalalar yechimini soddalashtirish maqsadida, “nuqtadagi gidrodinamik bosim” – r degan tushuncha kiritilgan. Shartli ravishda nuqtadagi gidrodinamik bosim skalyar deb hisoblanib, ta'sir etayotgan maydon joylashishiga bog'liq emas deb qabul qilinadi va uch o'lchamli

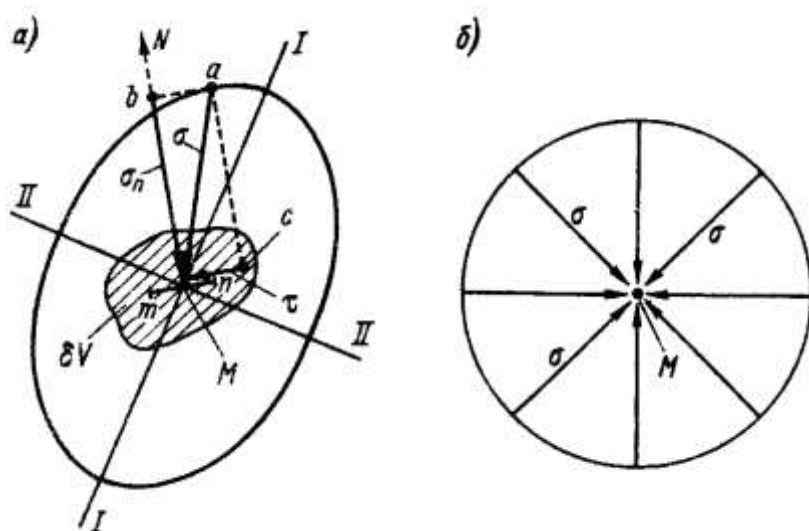
$$p = \frac{1}{3}(|\sigma_1| + |\sigma_2| + |\sigma_3|). \quad (3.1')$$

Ikki o'lchamli tekislik

$$p = \frac{1}{2}(|\sigma_1| + |\sigma_2|), \quad (3.1'')$$

ko'rinishda aniqlanadi, bunda $|\sigma_1|$, $|\sigma_2|$, $|\sigma_3|$ – kuchlanishlar modulining mos kattaliklari.

Yuqoridagiga asoslanib, ta'kidlash mumkinki, gidrodinamik bosim gidrostatik bosimdan farqli o'laroq, harakatlanayotgan suyuqlik bosimining o'rtacha taqribiy qiymatini ko'rsatadi.



3.1-rasm. To'liq muhitda berilgan m nuqtadagi kuchlanish

a) kuchlanishlar ellipsi;
b) kuchlanishlarning sharsimon yuzasi

Texnik gidrodinamika masalasining umumiy quyilishi. Suyuqlik oqimining asosiy gidrodinamik xarakteristikasi sifatida r – gidrodinamik bosimning skalyar kattaligi va zarracha harakat tezligining (u) vektor kattaligini ko'rsatish mumkin. Suyuqlik harakatlanayotgan muhitning turli qo'zg'almas nuqtalarida bosim turli qiymatlarga ega bo'lishi bilan birgalikda, vaqtning turli qiymatlarida ixtiyoriy qo'zg'almas nuqtada bu kattalik turli qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Ya'ni:

$$\begin{cases} p = f_1(x, y, z, t); \\ u_x = f_2(x, y, z, t); \\ u_y = f_3(x, y, z, t); \\ u_z = f_4(x, y, z, t). \end{cases} \quad (3.2)$$

bunda, u_x, u_y, u_z – tezlikning dekart koordinatalar sistemasidagi proektsiyalari.

Ma'lum bir t_1 – vaqtdagi f_1, f_2, f_3, f_4 funktsiyalar qiymatini bilish orqali bosimning skalyar maydoni va tezlikning vektor maydoni haqida ma'lumot olish imkoniyatini beradi. Shuning uchun matematik gidrodinamikada r va u kattaliklarni bilish asosiy masala hisoblanadi.

Masalaning bunday quyilishida f_1, f_2, f_3, f_4 funktsiyalar qiymatini hisoblash shu darajada qiyin masalaki, hatto real suyuqlikni ideal suyuqlik deb faraz qilinganda ham, masalani hal qilib bo'lmaydi. Qolaversa amaliyotda bu masalani nihoyatda yuqori darajadagi aniqlikda hisoblashga ehtiyoj bo'lmaydi.

Shu sababli texnik gidrodinamikada (3.2) ifodadan foydalanilmasdan, gidravlik usuldan keng foydalaniladi. Gidravlik usul yordamida harakatlanayotgan suyuqlik joylashgan muhitning ixtiyoriy qo'zg'almas nuqtasidagi bosimni va tezlikni aniqlash oqimning ayrim o'rtacha va integral xarakteristikalariga asoslangan. Shu usulga asoslanib tuzilgan asosiy tenglamalar quyidagilardir:

- harakatlanayotgan suyuqlikning siqilmaslik va uzluksizlik gidravlik tenglamasi (ayrim hollarda suyuqlik sarfining saqlanishi tenglamasi deyiladi);
- real holatdagi «butun oqim» uchun solishtirma kinetik energiyaning saqlanishi (Bernulli) gidravlik tenglamasi;

- real holatdagi suyuqlik uchun harakatlar miqdori gidravlik tenglamasi;
- suyuqlikning harakatida paydo bo'ladigan ishqalanish kuchlarining miqdorini baholash uchun empirik va yarim empirik ifodalar (Darsi va Veysbax ifodalari) dan foydalaniladi.

Tenglamalarning hadlarini aniqlab, ularning yordamida gidravlik xodisalarni tahlil qilish natijasida suyuqliklar mexanikasiga oid nihoyatda qiyin amaliy muammolarni hal qilish mumkin bo'lgan texnik nazariyani yaratish mumkin. Lekin ayrim masalalarning yechimini topishda bu usullarni suyuqliklarning matematik mexanikasi bilan birgalikda qo'llanilishini ham ta'kidlashimiz kerak.

Gidrodinamikaning ikki xil masalasi. Suyuqlikning harakati bilan tanishganda, asosan, yuqorida ta'kidlangan ikki xil masalani yechimini topishga to'g'ri kelishi mumkin:

- tashqi masala, ya'ni, suyuqlik oqimi ma'lum bo'lib, suyuqlikning o'zi aylanib oqib o'tayotgan qattiq jismga ta'siri;
- ichki masala, suyuqlikka ta'sir etayotgan kuchlar (hajmiy, masalan, og'irlik kuchi) berilgan bo'lib, oqimning gidrodinamik xarakteristikasi – bosim, tezlik va xokazolarni topish.

Yuqorida qayd etilgan tenglama va formulalarni keltirib chiqarishga va ularni tahlil qilib, o'rganishga kirishishdan oldin suyuqliklar kinematikasiga oid boshlang'ich tushunchalar bilan tanishamiz.

3.2. SUYUQLIK HARAKATINI KUZATISHNING ASOSIY ANALITIK USULLARI

Suyuqlik harakatini kuzatishning asosan ikki asosiy analitik usuli mavjud:

Lagranjusuli. Harakatlanayotgan suyuqlikda K sohani ajratib olib (3.2-rasm), qo'zg'almas Ox va Oz koordinata o'qlarini belgilaymiz. Boshlang'ich vaqtda o'rganilayotgan sohaning kirish chegarasida joylashgan M_1, M_2, M_3 harakatlanayotgan zarrachalarni ko'rib chiqamiz. Ularning boshlang'ich koordinatalarini x_0 va z_0 deb belgilab olamiz.

Bu har bir M zarracha uchun quyidagi ifoda o'rinlidir:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(x_0, z_0, t) \\ z &= f_2(x_0, z_0, t) \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Bu ifodalar yordamida har qanday belgilangan zarracha traektoriyasini aniqlashimiz mumkin. Endi zarrachaning dt vaqtda bosib o'tgan dl masofasini topib olishimiz mumkin. Bundan ixtiyoriy nuqtadagi tezlikni topishimiz mumkin. Belgilab olingan sohani bosib o'tayotgan zarrachani bosib o'tish uchun ketayotgan t vaqt davomida kuzatishimiz mumkin.

Lagranj fikriga asosan, zarrachalar traektoriyalarining umumlashgan ko'rinishi orqali oqimni o'rganish mumkin. Ta'kidlash kerakki, x va z lar suyuqlik zarrachasining o'zgaruvchan koordinatalari bo'lib, dx va dz kattaliklar dl kattalik proektsiyalari sifatida qaralishi mumkin.

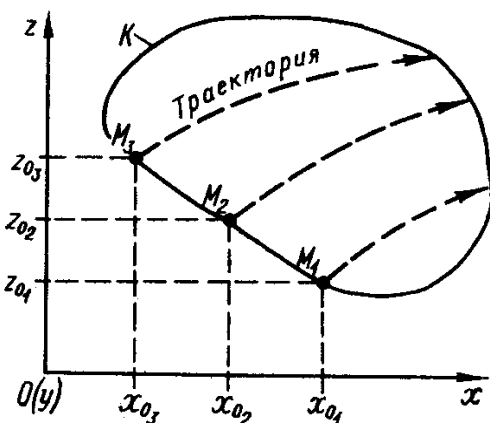
$$\text{Demak,} \quad u_x = \frac{dx}{dt}; \quad u_z = \frac{dz}{dt}. \quad (3.4)$$

Eyler usuli. Faraz qilaylik, harakatlanayotgan suyuqlik bilan muhitning bir bo'lagini ajratib olish mumkin. Bu bo'lakka dekart koordinatalar sistemasiga joylashtirib, unda 1, 2, 3, ... nuqtalarni tanlab olamiz. Bunda x, z – Lagranj usulidagi kabi, zarracha koordinatalari emas, balki, muhitning qo'zg'almas nuqtalaridir (3.3-rasm). t_1 vaqt oralig'ini kuzatadigan bo'lsak, 1 nuqtada $u_1(t_1)$, 2 nuqtada $u_2(t_2)$ va xokazo tezliklarga ega bo'lgan zarrachalar mavjud bo'ladi.

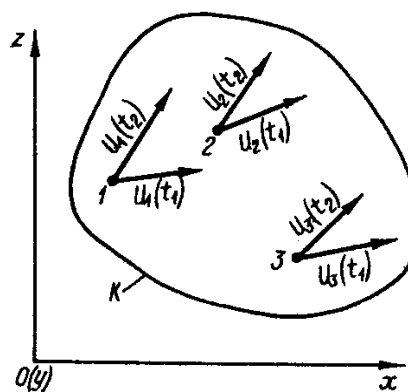
Ko'rinib turibdiki, t_1 vaqtda oqim – tezlik vektori maydonlari ko'rinishida ifodalanib, har qaysi vektorga ma'lum qo'zg'almas nuqta mos keladi. Ikkinchi boshqa vaqt oralig'ida 1, 2, 3, ... nuqtalar uchun $u_1(t_2)$, $u_2(t_2)$, $u_3(t_2)$ va xokazo tezliklar maydoniga ega bo'lamiz.

Umuman, xulosa qilib aytishimiz mumkinki, oqim ma'lum vaqt oralig'ida muhitning qo'zg'almas nuqtalaridagi zarrachalarining tezlik maydonlari bilan ifodalanadi. t_1 va t_2 vaqt oraliqlariga mos keluvchi tezlik maydonlarini o'zaro taqqoslash bilan aytish mumkinki, oqim vaqt o'tishi bilan o'zgaradi.

Yuqorida ta'kidlanganidek, oqim Eyler usuliga asosan, muhitning qo'zg'almas nuqtalariga mos tezlik vektorlari maydoni bilan ifodalanganligi sababli, dx va dz kattaliklarni dl kattalikning proektsiyalari sifatida qarash mumkin emas, balki, x va z koordinatalarning oddiy erkin o'zgarishi sifatida qabul qilinishi mumkin. Shu sababli (3.4) ifodani bunday vaziyatda qo'llab bo'lmaydi.



3.2-rasm. Lagranj usulining tasviri
 $M_1, M_2, M_3, \dots$ – suyuqlik zarrachalari



3.3-rasm. Eyler usulining tasviri
1, 2, 3, ... – muhitning qo'zg'almas nuqtalari

Suyuqlik harakatini tadqiq qilishning gidravlikada qo'llaniladigan usuli. Lagranj usuli o'ziga xos murrakkabligi sababli amaliyotda keng qo'llanilmaydi. Bundan keyin asosan, Eyler usulidan foydalanamiz. Bunda biz, suyuqlik zarrachasi harakatini ko'rilayotgan nuqtadan o'tgunga qadar bo'lgan dt vaqt davomida kuzatamiz. Masalani bunday quyilishida muhitning har qanday nuqtasida joylashgan zarracha dt vaqt davomida tashkil etuvchilari dx va dz bo'lgan dl masofani bosib o'tadi, deb qabul qilishimiz mumkin. Shu sababli, u_x va u_z tezlik tashkil etuvchilarini aniqlash uchun (3.4) ifodadan foydalanish mumkin.

Lagranj koordinatalaridan Eyler koordinatalariga o'tish: Bizga ma'lumki, Lagranj usuliga asosan suyuqlik harakati quyidagi sistema bilan aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(x_0, z_0, t) \\ z &= f_2(x_0, z_0, t) \end{aligned} \right\}$$

Tezliklarni esa $u_x = f_3(x_0, z_0, t)$; $u_z = f_4(x_0, z_0, t)$ ko‘rinishda ifodalash mumkin, oxirgi ikki ifodani (t) vaqt bo‘yicha differentsiallaymiz:

$$u_x = \left[\frac{\partial x}{\partial t} \right] = \left[\frac{\partial (f_1(x_0, z_0, t))}{\partial t} \right] = \phi_3(x_0, z_0, t),$$

$$u_z = \left[\frac{\partial z}{\partial t} \right] = \left[\frac{\partial (f_2(x_0, z_0, t))}{\partial t} \right] = \phi_4(x_0, z_0, t)$$

Bu tenglamalarni (x_0, z_0) ga nisbatan yechib, boshlang‘ich koordinatalarni tashlab yuborsak, $x_0 = \phi_3(x_0, z_0, t)$; $z_0 = \phi_4(x_0, z_0, t)$.

Endi tezlik proektsiyalarini yozamiz:

$u_x = \phi_3(x_0, z_0, t) = \phi_3(\phi_1, \phi_2, t)$, $u_z = \phi_4(x_0, z_0, t) = \phi_4(\phi_1, \phi_2, t)$
bunda, ϕ_1, ϕ_2 kattaliklar x va z funktsiyalar koordinatalaridir.

Shu sababli,

$$\phi_3 = F(x, z, t), \quad \phi_4 = F(x, z, t)$$

demak,

$$\phi_3 = F(x, z, t), \quad \phi_4 = F(x, z, t).$$

Olingan tenglamalar suyuqlik harakatining Eyler koordinatalari bo‘yicha ko‘rinishidir.

3.3. IDEAL HOLATDAGI SUYUQLIKLAR HARAKATINING DIFFERENTIAL TENGLAMASI (Eyler tenglamasi)

Gidrostatika bo‘limini o‘rganish jarayonida birlik massaga nisbatan olingan suyuqlikning nisbiy tinch holati uchun differentsial tenglama bilan tanishgan edik. Agar bu tenglamaga Dalamber ta’limotiga asosan, suyuqlikning birlik massasiga nisbati olingan inersiya kuchini ifodalovchi hadni kiritsak, ideal suyuqlik harakatining differentsial tenglamasini olishimiz mumkin. Inersiya kuchini birlik massaga nisbatan qiymatini I deb, tashkil etuvchilarini esa I_x, I_y, I_z deb belgilab olamiz.

$$I_x = -1 \frac{du_x}{dt}; \quad I_y = -1 \frac{du_y}{dt}; \quad I_z = -1 \frac{du_z}{dt}, \quad (3.5)$$

bunda, $\frac{du_x}{dt}, \frac{du_y}{dt}, \frac{du_z}{dt}$ kattaliklar – tezlanishning tashkil etuvchilari.

Inersiya kuchi tezlanishga nisbatan teskari yo‘nalganligi sababli (3.5) ifodalar oldida manfiy ishora qatnashmoqda. (2.15) tenglamaga suyuq parallelepipedning inersiya kuchini $0x, 0y, 0z$ o‘qlarga nisbatan proektsiyalarini ρ (dx, dy, dz) I_x, ρ (dx, dy, dz) I_y, ρ (dx, dy, dz) I_z ko‘rinishda (2.16) tenglamaga qo‘ysak, quyidagini yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Bu tenglamalar *Eyler tenglamalari* deyiladi.

(3.2) ifodani hisobga olib yozishimiz mumkin:

$$\frac{du_x}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \frac{dz}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial t} \quad (3.7)$$

Eyler usuli uchun (3.2) ifodani hisobga olib va (3.4) ifodani nazarda tutib, Eyler tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_y}{\partial t} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial t} \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Bu tenglamani harakatdagi chiziqqa urinmaga proektsiyalari uchun quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$\phi_s - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = \frac{du}{dt}$$

bunda, ϕ_s – hajmiy kuchlar tezlanishining urinma yo‘nalishiga proektsiyasi; $\frac{du}{ds}$ – urinma tezlanish.

Tenglamani yoyilgan shakldagi ko‘rinishini yozamiz:

$$\phi_s - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial s} \frac{ds}{dt}$$

yoki

$$\phi_s - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2} \right) = \frac{\partial u}{\partial t}$$

Umuman, to‘liq harakatda massa kuchlaridan faqat og‘irlik kuchi qolib, inersiya va koriolis kuchlari nolga aylanib ketadi.

(3.8) tenglamalar sistemasidagi noma’lumlarga e’tiborni qaratsak, massa kuchlari asosan ma’lum deb qaralib, zichlik bundan buyon doimiy va ma’lum kattalikka ega deb olinadi. Shu sababli, bu tenglamalar sistemasida to‘rt noma’lum qatnashmoqda: ρ, u_x, u_y, u_z .

Demak bu sistemani yechish uchun bitta tenglama yetishmaydi, bu tenglama sifatida uzluksizlik tenglamasining differentsial ko‘rinishini olish mumkin:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$$

Ta'kidlashimiz mumkinki, bu tenglamalarning birgalikdagi integrallanishi orqali siqilmas suyuqliklarning harakat masalasi o'z yechimini topishi mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_y}{\partial t} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial t} \\ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

(3.8) sistemaga kiruvchi tezlik proektsiyalarining xususiy hosilalaridan quyidagilari to'g'ri yoki bo'ylama hisoblanadi:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x}; \quad \frac{\partial u_y}{\partial y}; \quad \frac{\partial u_z}{\partial z}.$$

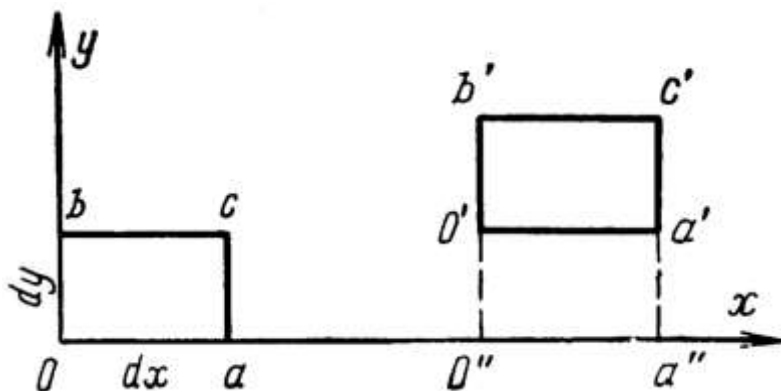
Qolgan 6 ta had esa

$$\frac{\partial u_x}{\partial y}, \frac{\partial u_x}{\partial z}, \frac{\partial u_y}{\partial x}, \frac{\partial u_y}{\partial z}, \frac{\partial u_z}{\partial x}, \frac{\partial u_z}{\partial y}$$

egri yoki ko'ndalang xususiy hosilalar hisoblanadi.

To'g'ri xususiy hosilalarning *fizik ma'nosini* birinchi $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ had misolida talqin qilamiz (3.4-rasm).

Faraz qilaylik, dx, dz o'lchamli $0-a-b-c$ elementar suyuqlik hajmi ma'lum bir dt vaqt davomida, ya'ni $t+dt$ vaqtda $0'-a'-b'-c'$ vaziyatga ko'chib o'tdi. Endi harakat o'rganilayotgan vaqt oralig'ida $0x$ o'qi yo'nalishida $0-a$ kesma uzunligi qanchaga o'zgarganligini aniqlaymiz.



3.4-rasm.

Albatta, rasmdan ko‘rinib turibdiki, bu o‘zgarish 0 va a nuqtalarning qaralayotgan vaqt oralig‘ida bosib o‘tgan masofalari farqiga teng.

dt vaqt oralig‘ida 0 nuqta $u_x dt$ masofani bosib o‘tgan bo‘lsa, bu vaqtda a nuqta $\left(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx\right) dt$ masofani bosib o‘tadi. Bu masofalar farqi (ds)ni

$$\text{aniqlaymiz:} \quad ds = \left(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx\right) dt - u_x dt = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx dt$$

Demak, bu kattalik 0- a kesmaning qaralayotgan elementar vaqt davomidagi 0x o‘qi yo‘nalishida o‘zgarishi yoki *deformatsiyalanishi* bo‘ladi. Bu elementar vaqt oralig‘ida u $\frac{ds}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx$ kattalikka kichik bo‘ladi. Bu masofaning 0x o‘qi yo‘nalishida nisbiy o‘zgarishini yozamiz:

$$\frac{\frac{ds}{dt}}{dx} = \frac{\frac{\partial u_x}{\partial x} dx}{dx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}$$

Demak, $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ to‘g‘ri xususiy hosila 0- a qirraning 0x o‘qi yo‘nalishida nisbiy cho‘zilish yoki qisqarish tezligini ko‘rsatadi. Buni 0x o‘qi yo‘nalishida 0- a qirraning chiziqli deformatsiyasi sifatida qabul qilishimiz mumkin.

Tenglama tarkibidagi $\frac{\partial u_x}{\partial y}, \frac{\partial u_x}{\partial z}, \frac{\partial u_y}{\partial x}, \frac{\partial u_y}{\partial z}, \frac{\partial u_z}{\partial y}, \frac{\partial u_z}{\partial x}$ kattaliklar egri xususiy hosilalar deb yuritiladi.

Egri yoki ko‘ndalang xususiy hosilalarning fizik ma’nolarini $\frac{\partial u_z}{\partial x}$ xususiy hosilasi misolida ko‘rib chiqamiz.

x o‘qda ab bo‘lakni olamiz (3.5-rasm), bu bo‘lak a va b suyuqlik zarrachalarini birlashtirib, ular orasidagi masofa dx ga teng. Bu bo‘lak dt vaqtda $a'b'$ masofaga ko‘chib o‘tadi, shu bilan birgalikda a zarracha aa' masofani ham bosib o‘tadi:

$$\overline{aa'} = u_z dt \quad (3.9)$$

b zarracha esa bb' masofani bosib o‘tadi.

$$\overline{bb'} = u'_z dt = \left(u_z + \frac{\partial u_z}{\partial x} dx\right) dt \quad (3.10)$$

bunda, u_z, u'_z – zarrachalarning z o‘qi bo‘ylab harakati

$$u'_z = u_z + \frac{\partial u_z}{\partial x} dx \quad (3.11)$$

Demak, $\overline{aa'} \neq \overline{bb'}$ bo‘lganligi sababli, dt vaqtda ab bo‘lak nafaqat ilgarilanma, balki, y o‘qi atrofida ham aylanma harakat qiladi.

$$\text{Demak,} \quad tg(d\alpha) = \frac{\overline{bb'}}{\overline{aa'}} = \frac{u'_z dt - u_z dt}{dx} = \frac{\frac{\partial u_z}{\partial x} dx dt}{dx} = \frac{\partial u_z}{\partial x} dt \quad (3.12)$$

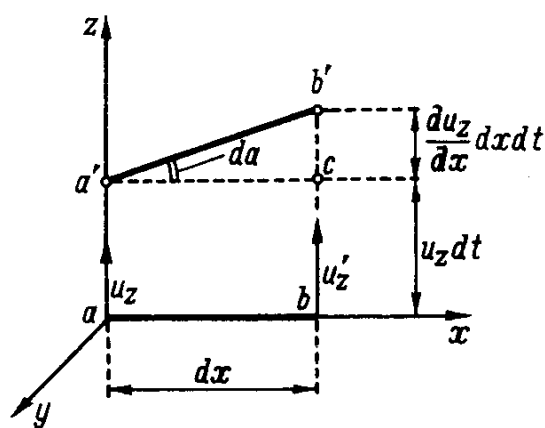
bunda $d\alpha$ nihoyatda kichik bo'lganligi uchun, $d\alpha = \tan \alpha d\alpha$ deb qabul qilinadi:

$$d\alpha = \frac{\partial u_z}{\partial x} dt \quad (3.13)$$

yoki

$$\frac{\partial u_z}{\partial x} = \frac{d\alpha}{dt} \quad (3.14)$$

Bundan xulosa qilish mumkin, ko'rilayotgan xususiy hosila ab bo'lakning u o'qi atrofida aylanish tezligini beradi.



3.5-rasm. ab – bo'lakning aylanishi

Quyidagi xususiy hosila haqida ham xuddi shunday mulohaza yuritish mumkin:

$$\frac{\partial u_x}{\partial y}, \frac{\partial u_x}{\partial z}, \frac{\partial u_y}{\partial x}, \frac{\partial u_y}{\partial z}, \frac{\partial u_z}{\partial y} \quad (3.15)$$

Bunda birinchi ikki xad yx tekislikda (z o'qqa nisbatan) burchak tezlikni anglatadi, keyingi ikkitasi yz tekislikda x o'qqa nisbatan burchak tezlikni, keyingi ikkitasi esa xz tekislikda y o'qqa nisbatan burchak tezligini beradi.

3.4. SUYUQLIK HARAKATINING UCH ASOSIY KO'RINISHI. BURAMA (VIXRLI) VA NOBURAMA (VIXRSIZ) HARAKATLAR

A qattiq jismni olib, uning ixtiyoriy a va b nuqtalarini tanlab olamiz (3.6, a -rasm) va ularni to'g'ri chiziq orqali birlashtiramiz. Harakat davomida chiziq o'z uzunligini o'zgartirmaydi, shu sababli har qanday qattiq jismning harakatini ikki xil harakat yig'indisidan iborat deb qabul qilish mumkin:

- ilgarilanma harakat, ab chiziq o'z yo'nalishini saqlab qoladi.
- aylanma harakat, ab chiziq a nuqtaga nisbatan aylanadi.

Suyuqlik harakatlanayotganda esa ab chiziq uzunligi o'zgaruvchan bo'ladi. Harakatlanayotgan suyuqlik shakli ham o'zgaruvchan bo'ladi. Xuddi shu holatlar suyuqlik harakatini ancha murakkablashtiradi. Umuman, elementar hajmdagi suyuqlik harakatini uch xil harakat yig'indisi shaklida qarash mumkin:

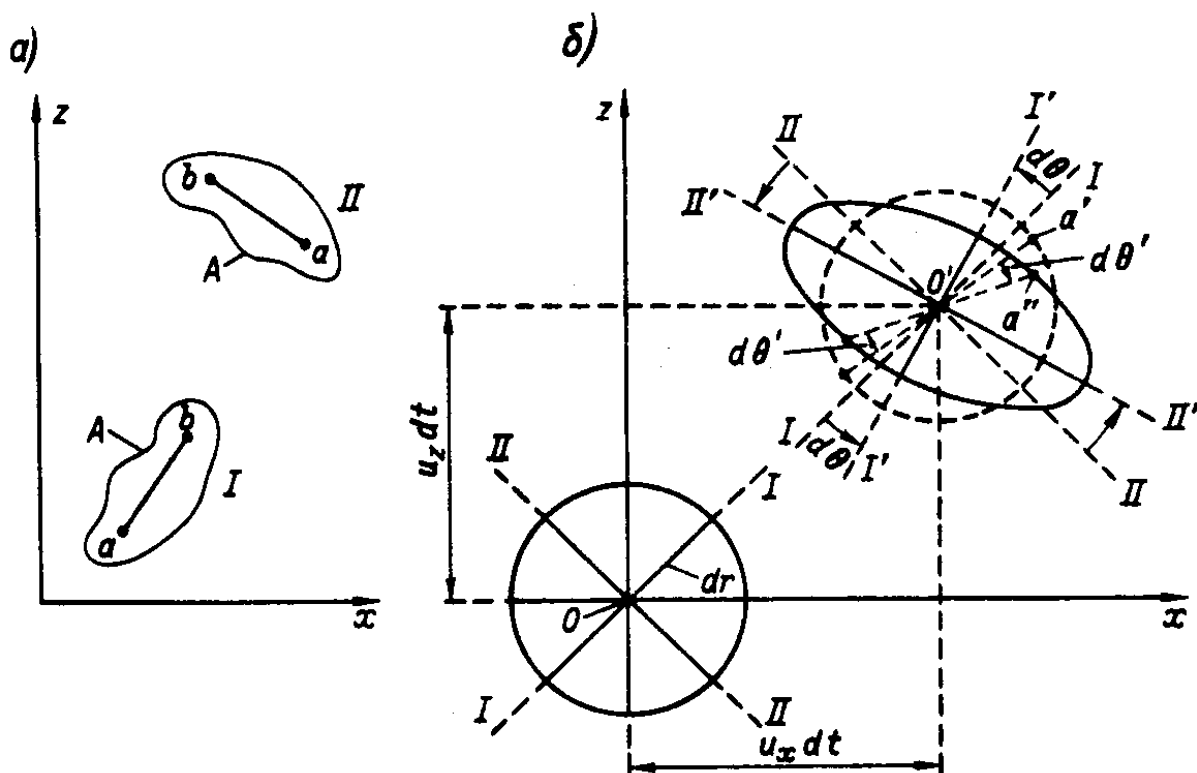
- ilgarilanma;
- aylanma;

deformatsion harakatlar.

3.6, b -rasmida ifodalangan dr radiusdagi elementar hajmning dt vaqt ichida O nuqtadan O' nuqttagacha harakatini ko'rib, uchta harakatni kuzatishimiz mumkin:

- ilgarilanma harakat yordamida O nuqta O' nuqtaga dt vaqtda o'tadi;
- aylanma harakat yordamida I-I va II-II deformatsiya o'qlari ab bo'lak uzunligi o'zgarmagan holda $d\theta$ burchakka buriladi;
- deformatsion harakatda esa bu o'qlar qo'shimcha $d\theta$ burchakka burilishi bilan birgalikda uzunligini ham o'zgartiradi (qisqaradi va uzayadi) (3.6, b -rasm).

Suyuqlikning bunday uch tomonlama harakati Gelmgolts tomonidan birinchi bo'lib tadqiq etilgan.



3.6-rasm. Hajmli suyuqlik harakatining turlari:
a) qattiq jism harakatining ikki turi;
b) suyuqlik elementar hajmi harakatining uch turi

Umuman, suyuqlik harakatini shartli ravishda ilgariylanma, aylanma va o'z shaklini vaqt davomida o'zgartirib turuvchi zarrachalar to'plamidan iborat deb qabul qilish mumkin. Aylanma harakatni o'rganishga chuqurroq to'xtalamiz. Oniy o'q atrofida zarracha harakatining burchak tezligini Ω va uning tashkil etuvchilarini Ω_x , Ω_y , Ω_z deb belgilab olamiz. Endi bu tashkil etuvchilarga mos keluvchi shartlarni belgilab olamiz. Shu maqsadda, to'g'ri prizma shaklidagi abc elementar hajmni (3.7-rasm) tanlab olamiz, cab burchak bissektrisasini aA deb, abc hajmni bosh deformatsiya o'qi deb belgilaymiz.

Ilgariylanma harakat yo'q, faqat aylanma va deformatsion harakat mavjud deb faraz qilamiz. abc hajm harakatlanganda a nuqta o'zining boshlang'ich vaziyatini o'zgartirmasdan dt vaqtda quyidagi o'zgarishlar bo'lishi mumkin:

- aA bissektrisa $d\theta$ burchakka burilib aA' vaziyatga ega bo'lib, abc hajm $ab'c'$ ga o'zgaradi;
- deformatsiya natijasida $ab''c''$ hajmni qabul qiladi. Bunda ya'ni, deformatsiya jarayonida aA' bissektrisa o'z yo'nalishini saqlab qoladi, buralmaydi, yani $s'ab'vac''ab''$ burchaklar bissektrisalari ustma-ust tushishi kerak.

Buni hisobga olgan holda quyidagilarni yozish mumkin:

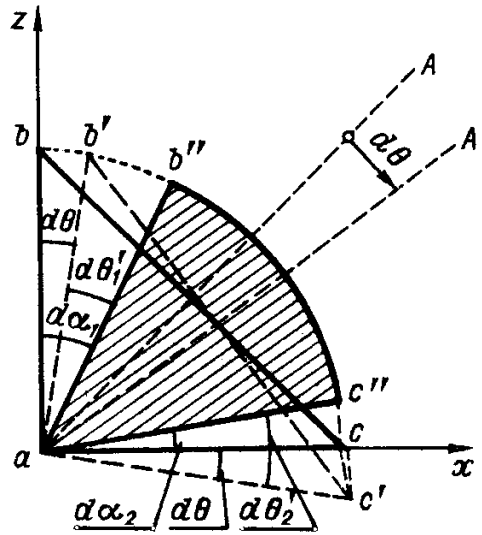
$$\begin{aligned} d\theta'_1 &= d\theta'_2 \\ d\alpha_1 - d\theta &= d\alpha_2 - d\theta \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$d\theta = \frac{1}{2}(d\alpha_1 - d\alpha_2)$$

bunda, $d\alpha_1$ va $d\alpha_2$ – ab va ac bo'laklarning burilish burchaklari (3.7-rasm).

(3.16) sistemadagi uchinchi tenglamani dt vaqtga bo'lib, $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{abc}$

elementar suyuqlik hajmining aA bosh deformatsiya o'qi atrofida y nuqtaga nisbatan o'rtacha burchak tezligini aniqlaymiz.



3.7-rasm. Elementar hajmli suyuqlikning aylanishi va deformatsiyalanishi

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2} \left(\frac{d\alpha_1}{dt} - \frac{d\alpha_2}{dt} \right); \quad (3.17)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \Omega_y \quad (3.18)$$

$$\frac{d\alpha_2}{dt} = \frac{\partial u_z}{\partial x} \text{ va } \frac{d\alpha_1}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial z} \quad (3.19)$$

(3.18) va (3.19) ifodalarni (3.17) ga quyib, Ω_u ning oxirgi ko'rinishiga ega bo'lamiz, qolgan tashkil etuvchilarni ham shu tarzda olamiz:

$$\begin{cases} \Omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \\ \Omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \\ \Omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \end{cases} \quad (3.20)$$

Burchak tezlik – (Ω) ning indeksleri x, y, z – shu o'qlar yoki shu o'qlarga parallel o'qlar atrofidagi aylanishni ko'rsatadi. $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$ tashkil etuvchilarining geometrik yig'indisi Ω kattalikni berib, bu kattalik oniy o'qqa nisbatan ko'rilayotgan elementar suyuqlikning aylanma harakatini xarakterlaydi.

Vixrli (burama) va vixrsiz (noburama) harakatlar. Tezliklar komponentlaridan xususiy hosilani hisoblab, (3.20) ifodaga qo'ysak, burchak tezlik tashkil etuvchilarini nolga tengligini ko'ramiz. Bunday xususiy holat – ilgarilanma va deformatsion harakatlar majmui bilan xarakterlanadi. Bunda suyuqlikning elementar hajmi cheksiz kichik masofani bosib o'tganda, o'zining oniy o'qiga nisbatan harakatlanmaydi. Shu sababli, ikki xil harakat bo'lishi mumkin:

- elementar hajmning bosh deformatsion o'qi nihoyatda cheksiz kichik masofada faqat ilgarilanma harakat qilsa, bunday harakat *noburama (vixrsiz) harakat* deyiladi.
- agar harakatda $\Omega \neq 0$ bo'lsa, ya'ni bosh deformatsion o'q, cheksiz kichik masofaga o'tishda aylansa, *burama (vixrli) harakat* deyiladi.

3.5. TEZLIK POTENTIALI. SUYUQLIKNING POTYENSIAL HARAKATI

Yuqorida ta'kidlaganimizdek, harakatlanayotgan suyuqlik joylashgan muhitni tezlik vektorlari maydoni sifatida qarash mumkin. Bu maydon potentsial, ya'ni, $\varphi(x,y,z)$ funktsiyaga mos keluvchi va quyidagi xossaga ega bo'lgan xususiy holat bilan tanishamiz.

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

Birinchi tenglamani u ga nisbatan, ikkinchisini x ga nisbatan differentsiallaymiz:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = \frac{\partial u_x}{\partial y}; \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = \frac{\partial u_y}{\partial x} \quad (3.22)$$

bu ifodalarni o'zaro ayirsak:

$$\frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} = 0 \quad (3.23)$$

xuddi shu tarzda:

$$\frac{\partial u_x}{\partial z} - \frac{\partial u_z}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z} = 0 \quad (3.24)$$

(3.23) va (3.24) ifodalarni (3.20) tenglamaga qo'ysak,
 $\Omega_x = \Omega_y = \Omega_z = 0$

Bu tenglamalarni quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\frac{\partial u_y}{\partial x} = \frac{\partial u_x}{\partial y}; \quad \frac{\partial u_x}{\partial z} = \frac{\partial u_z}{\partial x}; \quad \frac{\partial u_z}{\partial y} = \frac{\partial u_y}{\partial z}$$

Bu tezliklar komponentlari bilan bog'liq funktsiyani quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$u_x dx + u_y dy + u_z dz = -d\Phi$$

Demak, quyidagi to'liq differentsialni yozishimiz mumkin:

$$d\Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial x} dx + \frac{\partial \Phi}{\partial y} dy + \frac{\partial \Phi}{\partial z} dz$$

bo'lardan,

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial x} = u_x; \quad -\frac{\partial \Phi}{\partial y} = u_y; \quad -\frac{\partial \Phi}{\partial z} = u_z$$

Bu shartlarni qanoatlantiruvchi funktsiya *tezlik potentsialideb* yuritiladi. Tezlik potentsialini beqaror harakatda ham qarab chiqishimiz mumkin. Bunda vaqt va harakat har bir alohida harakat momenti uchun qaraladi. Tezlik potentsiali va

uning ikkinchi hosilasi uzluksiz hisoblanadi. Uning ikkinchi hosilasi differentsiallash darajasiga bog'liq emas, ya'ni

$$\begin{aligned}\frac{\partial u_x}{\partial z} &= -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial z} = \frac{\partial u_z}{\partial x}; \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} &= -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} = \frac{\partial u_x}{\partial y}; \\ \frac{\partial u_z}{\partial y} &= -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y \partial z} = \frac{\partial u_y}{\partial z}.\end{aligned}$$

Demak, vixrsiz harakatda tezlik – potentsialga ega, shu sababli harakatni potentsial deb ataymiz.

Agar suyuqlik oqimi bilan to'la muhitning barcha nuqtalarida bir xil tezlik potentsiali mavjud bo'lsa, bunday sirtlar *teng potentsiallar sirti* deb yuritiladi, ya'ni:

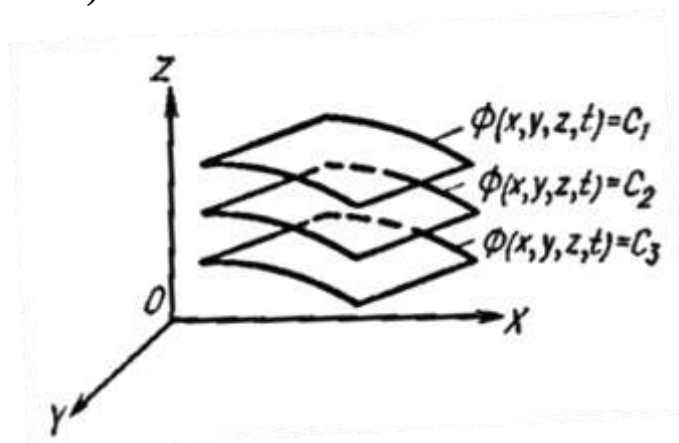
$$\Phi(x, y, z, t) = \text{const} = C;$$

$$d\Phi = 0.$$

Tekis potentsiallar sirti tenglamasini yozamiz:

$$u_x dx + u_y dy + u_z dz = 0$$

Turli teng potentsiallar sirti, turli doimiy $C(C_1, C_2, \dots, C_n)$ lar bilan xarakterlanadi (3.8-rasm).



3.8-rasm Turli teng potentsiallar sirti

u tezlikni potentsial tezlik orqali yozamiz:

$$u = \sqrt{\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z}\right)^2}$$

Tezlik potentsiali siqilmas suyuqlikning uzluksizlik tengamasini ham qanoatlantirishi kerakligi sababli, uni bu tenglamaga yozib quyidagiga ega bo'lamiz:

Uzluksizlik tenglamasini differentsial ko'rinishi quyidagi ko'rinishga ega, lekin uni keyingi mavzularda keltirib chiqaramiz:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} &= 0\end{aligned}$$

Bu tenglama *Laplas tenglamasi* deb yuritiladi. Laplas tenglamasini qanoatlantiruvchi funktsiyalar *garmonik funktsiyalar* deb yuritiladi.

Biz yuqorida ta’kidlaganimizdek, biror bir suyuqlik muhitda harakatni tasvirlashimiz uchun bu muhitning barcha nuqtalaridagi suyuqlik zarrachalari tezliklari tashkil etuvchilarini va bosimni bilishimiz kerak, buning uchun to’rtta tenglamaga ega bo’lishimiz lozim. Laplas tenglamasi barcha mana shu to’rt tenglamani o’z tarkibiga oladi. Bu tenglamani yechish orqali berilgan shartlarga mos keluvchi potentsial harakatni to’liq tasvirlaymiz. Laplas tenglamasi chiziqli bo’lganligi sababli, uning ikkita hususiy yechimi tenglamaning yechimi hisoblanadi.

Bundan xulosa qilish mumkinki, agar qaralayotgan tezlik maydonlari potentsial funktsiyaga ega bo’lsa, ya’ni potentsial bo’lsa, suyuqlik zarrachalarining deformatsion bosh o’qining aylanish burchak tezliklari nolga teng bo’lib, *vixrsiz harakat mavjud* bo’ladi.

Demak, suyuqlikning vixrsiz harakati doimo potentsialdir. Potentsial harakat bo’lgan holatda (3.25) funktsiyaga tashkil etuvchilari mos keluvchi va ma’lum boshlang’ich hamda chegaraviy shartlarni qanoatlantiruvchi ϕ funktsiyani topishga to’g’ri keladi. Agar vixrli harakat o’rganilganda bundan tashqari vaqt va koordinataga bog’liq yana ikki funktsiyani topishga to’g’ri kelishini hisobga olsak, vixrsiz harakat nisbatan ancha osonroq masalaligiga ishonch hosil qilish mumkin.

Ta’kidlash lozimki, tabiatda yoki texnikada suyuqlikning potentsial harakati deyarli uchramaydi. Lekin, ayrim masalalarda harakatlanayotgan suyuqlikli sohada vixrsiz harakat mavjud deb qaraladi. Masalan, suyuqlik qattiq jismni aylanib o’tayotganda uni ikki qatlamdan iborat deb o’rganiladi. Qattiq jism yaqinidagi qatlam chegaraviy – laminar qatlam va tashqi qatlam. Bu qatlamda yopishqoqlik kuchlari inobatga olinmasdan, u potentsial qatlam deb qaraladi. Yoki suv o’tkazgichlar ustidan va harakatlanuvchi to’siqlar ostidan katta tezlikda o’tadigan oqimchalar ham potentsial qatlam deb qaraladi.

3.6. EYLER TENGLAMASINING POTENTIALGA EGA BO’LGAN HAJMIY KUHLARNING VIXR (BURAMA) LARI KOMPOONENTLARI FUNKTSIYASI UCHUN KO’RINISHI – EYLER-LYAMB-GROMEKO TENGLAMALARI

Eyler tenglamasi har ikkala harakat uchun o’rinli ekanligini e’tirof etgan holda uni vixli va vixrsiz harakat uchun alohida qo’llash bu harakatlar o’rtasidagi farqni nafaqat kinematika nuqtai nazaridan, balki energetik nuqtai nazaridan aniqlash imkonini berishini ta’kidlash lozim. Shuning uchun tenglamani vixr bor yoki yo’qligini ko’rsatuvchi shaklga keltirish maqsadga muvofiqdir. (3.8) tenglamalar sistemasidagi birinchi tenglamani yozamiz:

$$\phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t}$$

Endi bu tenglamaga $\frac{\partial u_x}{\partial y}$, $\frac{\partial u_x}{\partial z}$ hadlar o’rniga, ularning (3.20) ifodadagi qiymatlarini qo’yamiz:

$$\frac{\partial u_x}{\partial y} = \frac{\partial u_y}{\partial x} - 2\Omega_z \text{ va } \frac{\partial u_x}{\partial z} = \frac{\partial u_z}{\partial x} - 2\Omega_y$$

Bu vaziyatni hisobga olsak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} u_x + \frac{\partial u_y}{\partial x} u_y + \frac{\partial u_z}{\partial x} u_z \right) + 2(u_z \Omega_y - u_y \Omega_z) = \\ &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} \right) + 2(u_z \Omega_y - u_y \Omega_z) \end{aligned}$$

bunda $u^2 = u_x^2 + u_y^2 + u_z^2$ ekanligi bizga malum.

Xuddi shu tarzda boshqa tenglamalarni yozib olamiz, u holda Eyler tenglamasining ko‘rinishini yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} \right) + 2(u_z \Omega_y - u_y \Omega_z); \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial u_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{u^2}{2} \right) + 2(u_x \Omega_z - u_z \Omega_x); \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{\partial u_z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{u^2}{2} \right) + 2(u_y \Omega_x - u_x \Omega_y). \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

Tenglamalar sistemasining bu ko‘rinishi bir-biridan bexabar holda ingliz olimi Lyamb va 1881 yilda Rossiyaning Qozon universiteti professori I.S.Gromeko tomonidan o‘zining “Siqilmas suyuqliklarning harakatining ayrim holatlari” maqolasida keltirib chiqarilgan. Shu sababli, bu tenglamalar sistemasini haqli ravishda Eyler-Lyamb-Gromeko tenglamalari sistemasi deb yuritish mumkin.

Faraz qilaylik, massa kuchlari tezlanishlari shunday kattalikka egaki, ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z parametrlar ma’lum bir $P=P(x, y, z)$ funktsiyaning koordinatalar bo‘yicha hususiy hosilasi hisoblanadi. Nazariy mexanika kursidan ma’lumki, bu funktsiya potentsial energiya deb atalib, kuch funktsiyasining teskari ishora bilan olingan qiymatiga teng:

$$\phi_x = -\frac{\partial \Pi}{\partial x}; \phi_y = -\frac{\partial \Pi}{\partial y}; \phi_z = -\frac{\partial \Pi}{\partial z};$$

Shunga mos ravishda:

$$-d\Pi = \phi_x dx + \phi_y dy + \phi_z dz$$

Bu munosabatni (3.25) sistema uchun yozamiz:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \Pi}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} \right) &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + 2(u_z \Omega_y - u_y \Omega_z) \\ -\frac{\partial \Pi}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{u^2}{2} \right) &= \frac{\partial u_y}{\partial t} + 2(u_x \Omega_z - u_z \Omega_x) \\ -\frac{\partial \Pi}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{u^2}{2} \right) &= \frac{\partial u_z}{\partial t} + 2(u_y \Omega_x - u_x \Omega_y) \end{aligned}$$

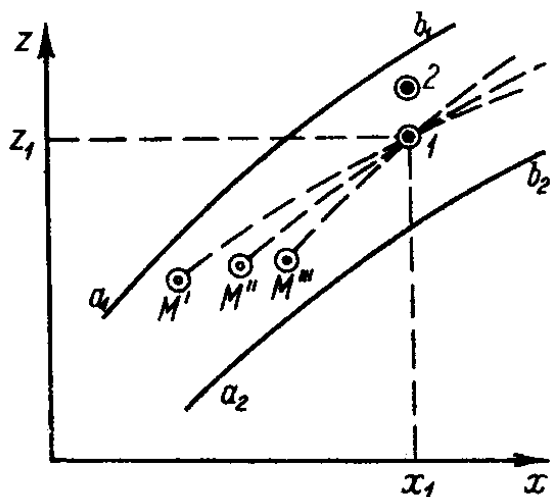
Bundan quyidagi munosabatni yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial x} \left(-\Pi - \frac{p}{\rho} - \left(\frac{u^2}{2} \right) \right) &= \frac{\partial u_x}{\partial t} + 2(u_z \Omega_y - u_y \Omega_z) \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(-\Pi - \frac{p}{\rho} - \left(\frac{u^2}{2} \right) \right) &= \frac{\partial u_y}{\partial t} + 2(u_x \Omega_z - u_z \Omega_x) \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(-\Pi - \frac{p}{\rho} - \left(\frac{u^2}{2} \right) \right) &= \frac{\partial u_z}{\partial t} + 2(u_y \Omega_x - u_x \Omega_y)\end{aligned}$$

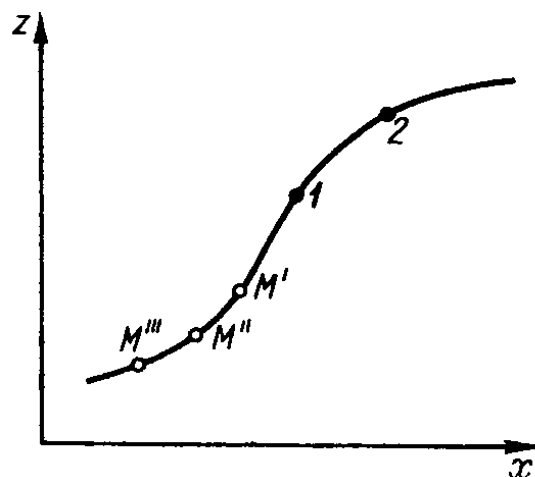
Olingan tenglamalar sistemasi potentsialga ega bo'lgan siqilmas suyuqlikka ta'sir etayotgan hajmiy kuchlarning vixr (burama) lari komponentlari funktsiyasi uchun *Eyler-Gromeko tenglamalari* deb ataladi.

3.7. SUYUQLIKNING BARQAROR VA BEQAROR HARAKATLARI

Bunday harakat turlari haqida tushuncha hosil qilishimiz uchun 3.9-rasmda ifodalangan a_1 , b_1 va a_2, b_2 chiziqlar bilan chegaralangan suyuqlik oqimi bilan tanishamiz. Rasmda ifodalangan muhitda 1 qo'zg'almas nuqta tanlab, bu nuqta orqali bir necha suyuqlik zarrachalari (M) ning harakatini kuzatamiz.



3.9-rasm. Suyuqlik zarrachalarining beqaror harakati



3.10-rasm. Suyuqlik zarrachalarining barqaror harakati

Bu qo'zg'almas nuqtadan t vaqtda M' zarracha, t'' vaqtda M'' zarracha va xokazolar mos ravishda u' , u'' , ... tezliklar bilan o'tadi. Agar suyuqlik harakatlanayotganda muhitning biror nuqtasidagi tezlik vaqt davomida o'zgarib tursa, bunday harakat *beqaror harakat* deyiladi. Shuning uchun beqaror harakat oqayotgan suyuqlik miqdorining o'zgarishi bilan xarakterlanadi.

$$u = f_1(x, y, z, t) \quad (3.26)$$

Suyuqlik harakati davomida, u harakatlanayotgan muhitning har bir nuqtasida tezlik vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bunday harakat *barqaror harakat* deyiladi, ya'ni,

$$u = f_1(x, y, z)$$

Barqaror harakatda oqayotgan suyuqlik miqdori vaqt davomida o'zgarishsiz qoladi. $\frac{\partial u_x}{\partial t} = 0$; $\frac{\partial u_y}{\partial t} = 0$; $\frac{\partial u_z}{\partial t} = 0$

Bir qo'zg'almas nuqtadan o'tayotgan M zarrachalarning harakat traektoriyalari ustma-ust tushadi (3.10-rasm) va vaqt davomida ular o'zgaradi.

Beqaror harakatda ikki xil holat bo'lishi mumkin:

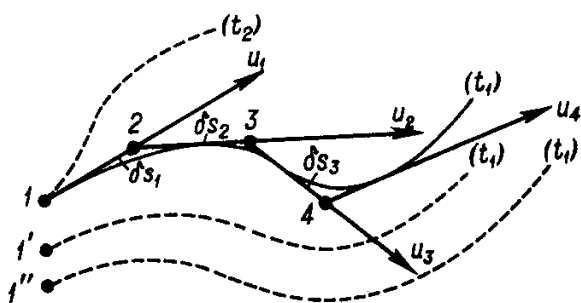
- alohida ayrim nuqtalarda tezlik sekin o'zgarganligi sababli $\frac{\partial u_x}{\partial t}$, $\frac{\partial u_y}{\partial t}$ va $\frac{\partial u_z}{\partial t}$ hadlarni hisobga olmaslik mumkin, bunday holatdagi harakat *sekin o'zgaruvchan harakat* deyiladi;
- alohida ayrim nuqtalarda tezlikni tez o'zgarishi bilan kuzatiladigan harakat esa *tez o'zgaruvchan harakat* deyiladi.

3.8. HAKARAT CHIZIG'I VA ELEMENTAR OQIMCHALAR. SUYUQLIK OQIMI

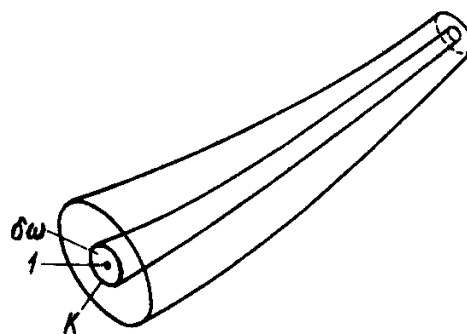
1. Barqaror va beqaror harakatlar bilan yuqoridagi mavzuda batafsil tanishdik:

Barqaror harakat. Oqimning bunday harakatida *oqim chizig'i* – vaqt davomida o'zgarmaydigan va suyuqlik zarrachalarining ketma-ket harakatlanganidagi traektoriyasi tushuniladi (3.10-rasm.), $M'''-M''-M'-1-2$ chiziq.

Beqaror harakat. Bunday harakatda suyuqlik harakatlanayotgan muhitning ixtiyoriy qo'zg'almas nuqtalaridan zarrachalarning tezlik vektorlariga o'tkazilgan urinma chiziq – *oqim chizig'i* deb ataladi (3.11-rasm).



3.11-rasm. Beqaror harakatdagi oqim chizig'i



3.12-rasm. Oqim ichida ajratilgan oqimchalar to'plami

Beqaror harakatda 1, 1', 1'' nuqtalar orqali o'tuvchi oqim chiziqlari harakatning oniy vaziyatini ko'rsatadi.

Vaqt o'zgarishi bilan bu vaziyat o'zgarishi mumkin. Endi oqimning ichki qismida tanlab olingan ixtiyoriy 1 nuqta olib, uning atrofida $d\omega$ elementar yuza tanlaymiz va bu yuza orqali oqim chiziqlarini o'tkazamiz. Xuddi mana shu chiziqlar bilan chegaralangan muhitni (3.12-rasm) *elementar oqimchalar* deb ataymiz. Bu elementar oqimchalarning o'zandagi, butun harakatdagi kesim bo'yicha umumiy miqdorini *oqim* deb ataymiz. Oqimning barqaror harakatida elementar oqimchalar quyidagi hususiyatlarga ega:

- oqimchalar chizig'i barqaror harakatda vaqt davomida o'zgarmas bo'lganligi sababli, oqimchalar shakli ham o'zgarmasdir;
- elementar oqimchalar oqim chiziqlari bilan chegaralangan bo'lib (3.10-rasm), ular orqali suyuqlik zarrachalari sirpanib harakatlanganligi sababli, oqimchalar to'plami ichiga tashqi tomondan zarrachalar kirmaydi va ichkaridagilari ham tashqariga chiqmaydi, shu sababli elementar oqimchalarni qalinlikka ega bo'lmagan, suyuqlik o'tkazmaydigan hamda vaqt oralig'ida o'zgarmaydigan devor bilan chegaralangan soha deb qarash mumkin;
- $d\omega$ – elementar yuza bo'lganligi sababli, butun yuza bo'ylab (u) tezlik va gidrodinamik bosim o'zgarmas bo'lib, uzunlik bo'ylab o'zgarishi mumkin.

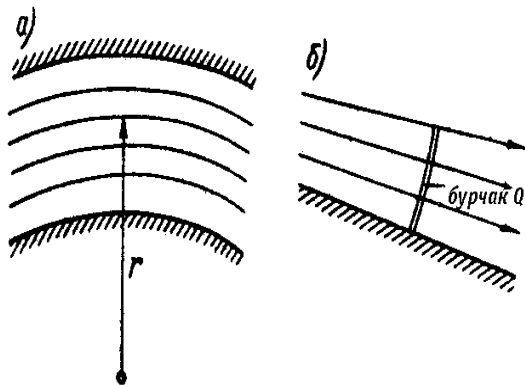
Suyuqlikning elementar oqimchalari birgalikda bir-birining ustida sirpanib harakatlanib, ma'lum bir masofalarni bosib o'tishi jarayonida harakat chizig'iga yaqinlasha boshlaydi, ya'ni harakatdagi kesim kichiklasha boshlaydi. Bunday tarzda harakatlanayotgan suyuqlik elementar oqimchalarining birgalikdagi, qattiq devorlar bilan chegaralanib harakatlanayotgan majmuasi – texnik gidrodinamika – gidravlikada *suyuqlik oqimi* deb yuritiladi.

3.9. SUYUQLIK OQIMINING TEKIS, PARALLEL CHIZIQLI, SEKIN O'ZGARUVCHAN VA TEZ O'ZGARUVCHAN HARAKATLARI. HARAKATDAGI KESIM, SARF VA O'RTACHA TEZLIK. TEZLIK EPYURASI

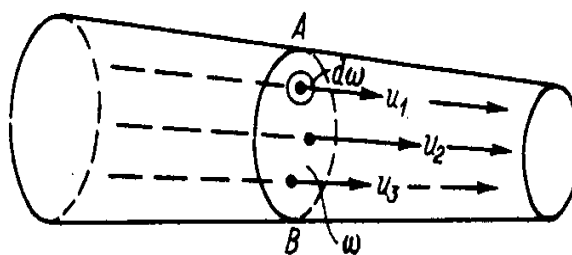
Oqimning harakatida oqim chiziqlarining to'liq parallel ko'rinishidagi xususiy holat *parallel chiziqli harakati* deyiladi. Lekin, amaliyotda ko'pincha oqim chiziqlari parallelligi saqlanmaydi. Bunday harakatlarsekin o'zgaruvchan vatez o'zgaruvchan harakatlarga bo'linadi.

Quyidagi ikki shartni qanoatlantiruvchi holatdagi oqimning harakati *sekin o'zgaruvchan harakat* deyiladi.

- r – oqim chizig'ining egriligi nihoyatda katta qiymatga ega bo'lishi kerak (3.13, *a*-rasm);
- ko'rilayotgan oqimning oqim chiziqlari tashkil etgan (θ) burchagi nolga yaqin qiymatga yoki nolga teng bo'lishi kerak (3.13, *b*-rasm). Bu ikkala shartdan ixtiyoriy biri bajarilmagan holatdagi suyuqlik harakati *tez o'zgaruvchan harakat* deyiladi.



3.13-rasm. Suyuqlikning sekin va tez o'zgaruvchan harakatiga doir



3.14-rasm. A-V ko'ndalang kesim yuzasi

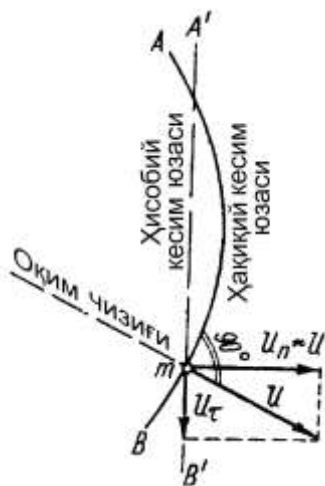
Harakatdagi kesim.Elementar oqimchalar to'plamining oqim chiziqlariga perpendikulyar bo'lgan (AV) yuza (3.14-rasm) *harakatdagi kesim* deb ataladi. Bu ω harfi bilan belgilanib, yuza o'lchov birliklarida o'lchanadi.

Tekis o'zgarmas harakatda bu kesim tekis bo'lib, tekis o'zgaruvchan harakatda tekis ko'rinishga o'xshash shaklga ega bo'ladi (3.15-rasm). Tekis o'zgaruvchan oqimlarning hisobi bajarilganda, bu kesim tekis shaklda deb qabul qilinadi.

AV kesimda joylashgan m nuqtadagi zarracha tezlik u ni $A'B'$ kesimga perpendikulyar u_n tashkil etuvchiga va $A'B'$ kesimda yotuvchi u_n tashkil etuvchilarga ajratamiz. Bunda u_τ tezlik tashkil etuvchisi va uning tezlanishi w_τ ni hisobga olmasdan

$$u_n \approx u; \quad w_n \approx w$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bunda w — m nuqtadagi tezlanish, w_n — yning $A'B'$ yuzaga nisbatan proektsiyasi.



3.15-rasm. A-V kesimni tekis hisobiy A'-V' kesim bilan almashtirish

Suyuqlik sarfi. Harakatdagi kesimdan birlik vaqt oralig'ida o'tgan suyuqlik miqdorisuyuqlik sarfi deyiladi. Bu kattalik Q harfi bilan belgilanib, quyidagi sarf o'lchov birliklarida o'lchanadi, m^3/s , dm^3/s , l/s .

Harakatdagi kesimni elementar yuzasini $d\omega$ deb belgilab olsak, unda elementar sarfni quyidagicha yozib olish mumkin:

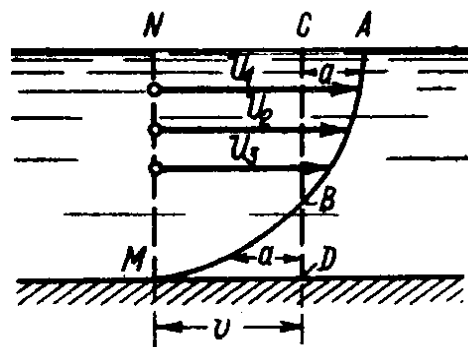
$$dQ = u d\omega \quad (3.27)$$

Harakatdagi kesim bo'ylab, tezlik bir xil emasligini va (3.27) ifodani etiborga olib,

$$Q = \int_{\omega} u d\omega \quad (3.28)$$

deb, yozish mumkin. Bunda integral ω egri kesim yuzasi bo'ylab olinadi.

O'rtacha tezlik. Suyuqlik zarrachalarining tezliklari borasida so'z yuritganimizda harakatdagi kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi vaqtning oniy lahzasida harakatlanayotgan zarracha tezligi



3.16-rasm. u tezlik epyurasi (q. AVMN)
 v — o'rtacha tezlik

mavjud bo‘ladi. Bu kattalik *mahalliy yoki aktual tezlik* deb yuritiladi. u' -harfi bilan belgilanadi.

Agar suyuqlik harakatlanayotgan o‘zanning ixtiyoriy qo‘zg‘almas nuqtasidan turli vaqt oralig‘ida o‘tayotgan zarrachalar tezliklarining o‘rtacha qiymati *o‘rtalashtirilgan tezlik* deb yuritiladi va $\bar{u}$ harfi bilan belgilanadi. Demak, o‘rtalashtirilgan tezlik vaqt bo‘yicha o‘rtalashtirilgan tezlik deb qabul qilinishi mumkin. Bu o‘rtalashtirilgan tezlikning harakatdagi kesim bo‘ylab o‘rtalashtirilgan qiymatini o‘rtacha tezlik deb yuritamiz. Bu kattalik ma‘lum bir ma‘noda abstrakt, ya‘ni mavhum kattalik bo‘lib, v harfi bilan belgilanadi. Yuqorida ta’kidlanganidek, tezlik harakatdagi kesimning turli nuqtalarida turlichadir (3.16-rasm).

$$u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq \dots$$

Shu sababli o‘rtacha tezlik degan tushunchakiritiladi .

$$v = \frac{Q}{\omega} \text{ yoki } v = \frac{\int u d\omega}{\omega} \quad (3.29)$$

Shunga asosan, sarf quyidagicha aniqlanadi:

$$\boxed{Q = \omega v} \quad (3.30)$$

Demak, tekis va tekis o‘zgaruvchan harakatlarni o‘rganishda qo‘llaniladigan v – *o‘rtacha tezlik tushunchasi* deganda shu harakatdagi kesimdagi mavjud tezliklarning o‘rtacha arifmetik qiymati tushuniladi.

Tezlik epyurasi. Faraz qilaylik, 3.16-rasmdagi vertikal MN – biror bir harakatdagi kesimga mos keladi. Bu kesimda turlicha $u_1, u_2, u_3, \dots$, tezliklar mavjud. Bu tezlik vektorlari oxirini o‘zaro birlashtirib, $ABMN$ shaklni olamiz, bu shakl u tezlikni MN vertikal bo‘ylab taqsimlanish tezligini ko‘rsatadi. Bu shakl *tezlik epyurasi* deyiladi. Demak, tezlik epyurasi suyuqlik oqimi harakatdagi kesimining ixtiyoriy vertikalidagi taqsimlanish jadalligini ko‘rsatadi. Butun harakatdagi kesim uchun tezlik epyurasi hajmiy shaklga ega bo‘lsa, biror vertikal uchun yassi-tekis shaklga ega bo‘ladi. Shakl yuzasini Ω harfi bilan belgilaymiz. Ko‘rilayotgan harakatdagi kesimning ixtiyoriy tezliklari uchun epyura bir xil bo‘lganligi sababli,

$$Q = \Omega b \quad (3.31)$$

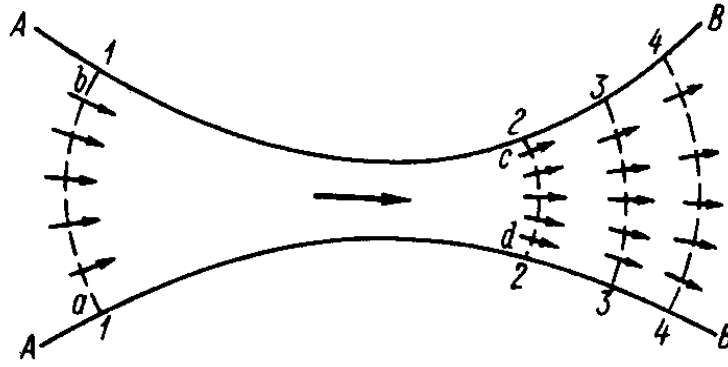
bundan,

$$\Omega = \frac{Q}{b} \quad (3.32)$$

Endi 3.16-rasmda $C-D$ vertikalni shunday vaziyatdan o‘tkazamizki, $CDMN$ yuza kattaligi Ω yuzaga teng bo‘ladi. Mana shu to‘rtburchakning kengligi o‘rtacha tezlik v ni beradi.

3.10. SUYUQLIKNING BARQAROR HARAkatIDA UZLUKSIZLIK TENGLAMASI

1^o. Tez o‘zgaruvchan suyuqlik harakati bo‘lgan holat. 3.17-rasmda ko‘rsatilgan oqimni olib, undagi $abcd$ bo‘lakni ko‘rib chiqamiz. Bo‘lak AV sirt bilan chegaralangan bo‘lib, undan tashqariga yoki ichkariga oqim kirmaydi. Bunda 1-1 va 2-2 kesimlarni belgilab olamiz.



3.17-rasm. (3.36) tenglamani keltirib chiqarishga doir

$abcd$ bo'lakdan dt vaqtda 1-1 kesimga $Q_1 dt$ hajmda suyuqlik kirib, 2-2 kesimdan $Q_2 dt$ hajmda suyuqlik chiqib ketadi.

Bunda quyidagi holatlar hisobga olinadi:

- $abcd$ bo'lakka AV yon sirtidan suyuqlik kirmaydi, chunki AV sirt oqim chizig'i bilan tashkil topgan bo'lib, bu chiziq bo'ylab suyuqlik zarrachalari ketma-ket harakatlanadi;
- suyuqlik siqilmaydi;
- suyuqlik uzluksiz holatda harakatlanadi (kavitatsiya va aeratsiya masalalarini etiborga olmaymiz).

Yuqoridagi holatlarni hisobga olib yozish mumkin,

$$Q_1 dt = Q_2 dt \quad (3.33)$$

$$Q_1 = Q_2 \quad (3.34)$$

Xuddi shu tarzda boshqa kesimlarni ham yozish mumkin: 3-3, 4-4 va xokazo

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q = \text{const} \quad (3.35)$$

$$\boxed{Q = \text{const} \text{ (oqim bo'ylab)}} \quad (3.36)$$

(3.36) tenglamaga asoslanib, shunday xulosa qilish mumkin, oqimning barqaror harakatida yon tomondan qo'shimcha suyuqlik miqdori qo'shilmasa, undagi sarf miqdori uzunlik bo'yicha o'zgarmaydi.

2^o. Oqim sekin o'zgaruvchan va parallel chiziqli holatda harakatlanganda esa oqimning uzluksizlik tenglamasini quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = v_3 \omega_3 = \dots = v \omega = \text{const} \text{ (oqim bo'ylab)} \quad (3.37)$$

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}} \quad (3.38)$$

Agar butun oqim o'rniga elementar oqimchalar to'plami ko'rilayotgan bo'lsa,

$$dQ = v d\omega = \text{const} \text{ (oqimcha bo'ylab)}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{d\omega_2}{d\omega_1} \quad (3.39)$$

Faraz qilaylik, 3-4 kesimga oniy dt vaqt oralig'ida $dM'_x = \rho u_x dt dy dz$ suyuqlik massasi kirib, 1-2 kesimdan shu vaqt oralig'ida $dM''_x = \rho u'_x dt dy dz$

suyuqlik massasi chiqadi. Bunda zichlik va tezlik o'zgarishi x koordinata o'zgarishiga bog'liq, bu o'zgarish hususiy hosila bilan ifodalanadi:

$$\rho' = \rho + \frac{\partial \rho}{\partial x} dx;$$

$$u'_x = u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx,$$

demak, chiqayotgan massani yozamiz:

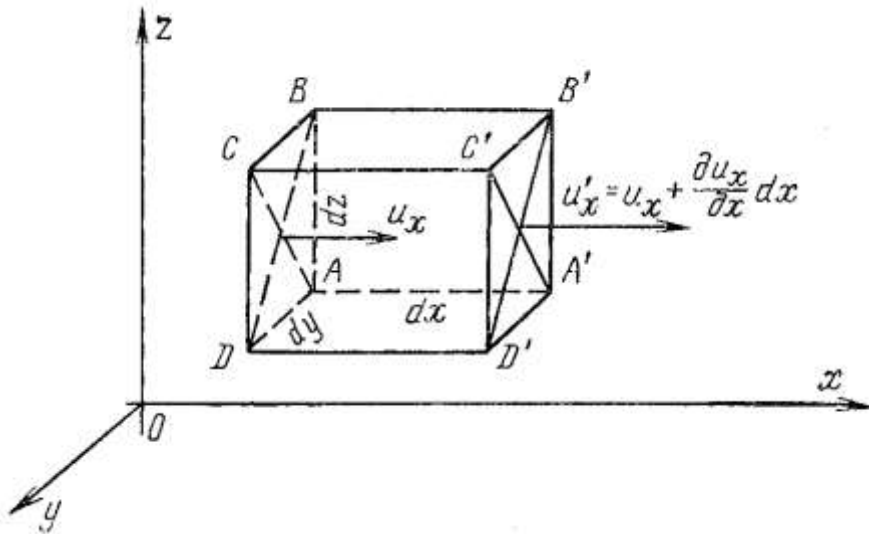
$$\begin{aligned} dM''_x &= \left(\rho + \frac{\partial \rho}{\partial x} dx \right) \left(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx \right) dt dy dz = \\ &= \left(\rho u_x + \rho \frac{\partial u_x}{\partial x} dx + u_x \frac{\partial \rho}{\partial x} dx + \frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial u_x}{\partial x} (dx)^2 \right) dt dy dz \end{aligned}$$

bunda

$$\rho \frac{\partial u_x}{\partial x} dx + u_x \frac{\partial \rho}{\partial x} dx = \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} dx.$$

$\frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial u_x}{\partial x} (dx)^2$ nihoyatda kichik bo'lganligi sababli, ularni inobatga

olmasligimiz mumkin: $dM''_x = \left(\rho u_x + \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} dx \right) dt dy dz.$



3.18-rasm.

Qaralayotgan kesimdagi suyuqlik massasining oniy vaqtdagi o'zgarishini yozamiz:

$$\begin{aligned} dM_x &= dM'_x - dM''_x = \rho u_x dt dy dz - \left(\rho u_x + \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} dx \right) dt dy dz = \\ &= - \frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} dt dx dy dz \end{aligned}$$

Xuddi shu tarzda Oy va Oz o'qlar bo'yicha massa o'zgarishi analogik tarzda aniqlanadi:

$$dM_y = -\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} dt dx dy dz;$$

$$dM_z = -\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z} dt dx dy dz.$$

Massaning dt vaqtda umumiy o'zgarishi:

$$dM = dM_x + dM_y + dM_z = -\left(\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}\right) dt dx dy dz.$$

Massaning bu o'zgarishi oqimning uzluksizlik sharti bajarilganda, uning zichligi o'zgargandagi massasi o'zgarishiga teng. Demak, $t + dt$ vaqtda zichlik o'zgargandagi massa o'zgarishini yozamiz:

$$dm = dm_{t+dt} - dm_t = \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz = dM.$$

bundan,

$$-\left[\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}\right] dt dx dy dz = \frac{\partial \rho}{\partial t} dt dx dy dz.$$

Tenglamani birlik massaga nisbatan yozamiz, ya'ni $dt dx dy dz$ ga bo'lamiz:

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

Bu olingan tenglama oqimning uzluksizlik tenglamasining differentsialko'rinishidir.

Barqaror va beqaror harakatlarda suyuqlikning siqilmas ($\rho = \text{const}$) holati uchun uzluksizlik tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (3.40)$$

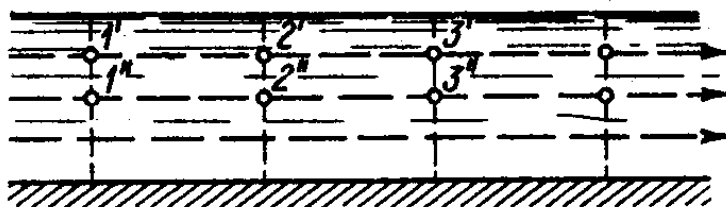
3.11. TEKIS VA NOTEKIS HARAKATLAR. ERKIN OQIMCHALAR. NAPORLI VA NAPORSIZ HARAKATLAR. HARAKATDAGI KESIMNING GIDRAVLIK ELEMENTLARI

Suyuqlikning tekis va notekis harakatlari. Barqaror va beqaror harakatlar bilan alohida tanishib o'tamiz.

Barqaror harakat. Barqaror harakatda oqim sarfi o'zgarmas bo'ladi ($Q = \text{const}$). Barqaror harakat ham o'z navbatida tekis va notekis harakatlarga bo'linadi.

3.19-rasmda ifodalangan oqim bo'ylab $\omega = \text{const}$ talabga mos keladigan tsilindr shaklidagi oqim bilan tanishamiz.

Bu oqimda bir xil bir necha harakatdagi kesim va to'g'ri chiziqlar tanlab olamiz. Bu chiziqlar bo'ylab kesimlarda $1', 2', 3' \dots$ yoki $1'', 2'', 3'', \dots$ va xokazo nuqtalar begilaymiz, bo'larni *mos nuqtalar* deb ataymiz.



3.19-rasm. Mos nuqtalar
(1''; 2''; 3'', ...; 1'; 2'; 3';...)

Uzunlik bo'ylab oqim harakatida harakatdagi kesim o'zgarishi $\omega \neq \text{const}$ yoki mos nuqtalarda harakatdagi kesim kattaligi o'zgarimasdan, tezlik o'zgarishi *oqimning notekis harakati* deyiladi.

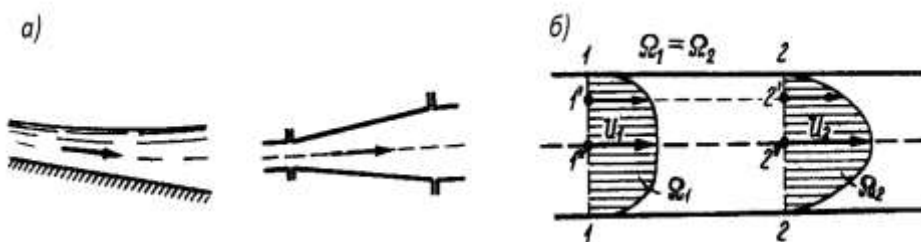
$$(u_1 \neq u_2 \neq u_3 \neq K \neq u_n)$$

3.20, a-rasmda oqim harakatida harakatdagi kesim o'zgarishi kuzatilsa, 3.20, b-rasmda tezlik o'zgarib turibdi. Shunga bog'liq holatda tezlik epyurasining shakli ham o'zgarib turadi.

Oqim harakatida uzunlik bo'ylab harakatdagi kesim o'zgarimasdan mos nuqtalardagi tezlik o'zgarmasa, bunday harakat *tekis harakat* deyiladi. Oqimning tekis harakatida tezlik epyurasi yuzasi doimiy bo'lib qolmay, balki epyura shakli ham bir xil bo'ladi. Bunday harakat ayrim hollarda *parallel chiziqli harakat* deb ham tariflanadi. Tekis harakatda bundan tashqari harakatdagi kesim bo'ylab o'rtacha tezlik (v) ham o'zgarmasdir. Umuman, *parallel chiziqli va tekis harakatlarning fizik mohiyatlari bir-biri bilan juda yaqinligini e'tirof etish kerak.*

$$v = \text{const} \quad (\text{oqim bo'ylab}) \quad (3.50)$$

Oqimning tekis harakati gidrotexnika amaliyotida prizmatik (tsilindrik) o'zanlarda suv oqimining harakatida kuzatiladi. Shu o'rinda prizmatik (tsilindrik) va noprizmatik (notsilindrik) o'zanlar tushunchasiga tarif berib o'tamiz. Agar o'zan ko'ndalang kesimi yuzasi uzunlik bo'yicha o'zgarmasa bunday kanallar *prizmatik (tsilindrik) kanallar* deb yuritiladi. Agar o'zan ko'ndalang kesimi uzunlik bo'yicha o'zgarsa, ular *noprizmatik (notsilindrik) o'zanlar* deb yuritiladi.



3.20-rasm. a) notekis harakat;
b) tsilindrik quvurlardagi notekis harakat

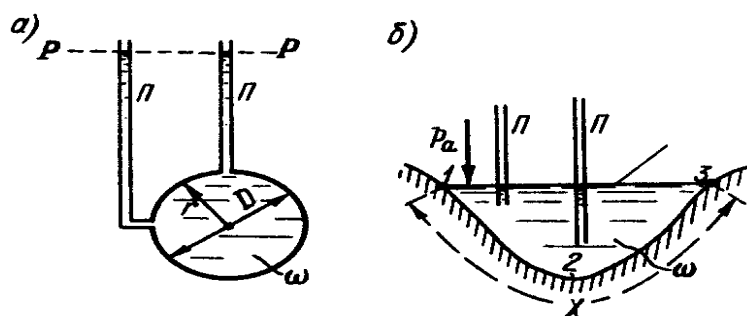
Oqimning beqaror harakati o'z navbatida ikki turga bo'linadi:

- sekin o'zgaruvchan harakat;
- tez o'zgaruvchan harakat.

Sekin o'zgaruvchan harakat gidrotexnika amaliyotida *kvizistatsionar harakat* deb yuritiladi. «Kvazi» so'zi lotin tilidan olingan bo'lib, o'xshash, xuddi degan ma'nolarni bildiradi.

Naporli va naporsiz harakatlar (3.21, a va b-rasmlar) .Naporli harakat deganda, suyuqlik o'z harakati davomida har tomondan qattiq devorlar bilan chegaralanishi tushuniladi (3.21, a-rasm) .

Agar suyuqlik harakatida bir tomondan atmosfera bilan tutashgan bo'lsa, bunday harakat *naporsiz harakat* deyiladi (3.21, b-rasm) .



3.21-rasm. Naporli (a) va naporsiz (b) harakatlar.
 χ – ho'llangan perimetr

Oqim harakatdagi kesimining gidravlik elementlari. Harakatdagi kesimning asosan uchta asosiy gidravlik elementi mavjud.

- ω – harakatdagi kesim yuzasi;
- χ – ho'llangan perimetr (3.21, b-rasm) ;
- R – gidravlik radius – harakatdagi kesim yuzasining ho'llangan perimetr kattaligiga nisbati bilan aniqlanadi.

$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (3.51)$$

Bu kattalikning fizik ma'nosi – harakatdagi kesim shaklining suyuqlik harakatiga ta'sirini aniqlashga ko'maklashishidir.

Agar kesim aylana shaklida bo'lsa.

$$R = \frac{\pi D^2}{4\pi D} = \frac{D}{4} = \frac{r}{2} \quad (3.52)$$

bunda, D – aylana naporli quvur diametri.

3.12. SUYUQLIK OQIMINING UCH O'LCHAMLI (FAZOVIY) , IKKI O'LCHAMLI VA BIR O'LCHAMLI HARAKATLARI. SUYUQLIK HARAKATI TURLARINING TASNIFI

Suyuqlik oqimining uch o'lchamli (fazoviy) , ikki o'lchamli va bir o'lchamli harakatlari tushunchalari ham amaliyotda keng qo'llaniladi.

Suyuqlik oqimining *uch o'lchamli (fazoviy)* harakatida uning kinematik xarakteristikasi barcha koordinatalarda (x, y, z) e'tirof etiladi. Bunday harakatga oqim yo'nalishida kengayuvchi kanallardagi, kanal yoki quvurlar sistemasining burilish sohalaridagi suv oqimining harakati misol bo'la oladi. Harakatda suyuqlik oqimi tezligini barcha tashkil etuvchilari inobatga olingan

Ikki o'lchamli (yassi) harakatda esa oqimning kinematik xarakteristikasi uchinchi koordinataga bog'liq emas deb qaraladi. Masalan, agar oqim tezligining tashkil etuvchilari $u_x \neq 0; u_z \neq 0; u_y = 0$ bo'lsa, harakat faqat bitta – xOz tekislikka

parallel bo'lgan tekisliklarda amalga oshadi. Bunday harakat nihoyatda keng ochiq kanallarda naporsiz, yopiq kanallarda naporli harakatlar ko'rinishida amalga oshishi mumkin. Bundan tashqari, keng to'rtburchak shaklga yaqin ko'rinishdagi o'zanga ega grunt suvlarining harakati ham ikki o'lchamli – yassi harakatga misol bo'lishi mumkin. Yassi oqim tushunchasi shu ma'noni bildiradi.

Bir o'lchamli harakatda oqimning kinematik xarakteristikasi faqat bitta koordinataga bog'liq deb qaraladi. Bunday harakat gidravlikaning ko'p masalalarini yechishda qabul qilinadi. Masalan, ko'pincha oqimning o'rtacha tezligi bo'ylama koordinataga bog'liq deb qaraladi. Demak, yuqorida tanishgan harakat turlariga asoslanib, suyuqlik harakati turlarining tasnifini quyidagitaritibda keltirishimiz mumkin:

1- tasnif:

- potentsial harakat, ya'ni oniy kichik masofada suyuqlikni tashkil etuvchi zarrachalar to'g'ri aylanmasdan harakatlanadi;
- aylanma harakat.

2 - tasnif:

- barqaror harakat, ya'ni statsionar (turg'un) harakat;
- beqaror harakat ya'ni nostatsionar (noturg'un) harakat.

3 - tasnif:

- tekis harakat;
- notekis harakat.

4-tasnif: notekis harakat ham o'z navbatida quyidagicha tasniflanadi:

- sekin o'zgaruvchan harakat (harakatdagi kesim tekis deb qabul qilinadi) ;
- tez o'zgaruvchan harakat (harakatdagi kesim egri deb qabul qilinadi) .

5 - tasnif:

- naporli harakat (3.21, *a*-rasm) ;
- naporsiz harakat (3.21, *b*-rasm) .

6 - tasnif:

- laminar harakat;
- turbo'lent harakat.

7 - tasnif:

- tinch harakat (sokin) ;
- notinch harakat (shovqinli) ;
- kritik holatdagi harakat.

8 - tasnif:

- bir o'lchamli harakat;
- ikki o'lchamli harakat;
- uch o'lchamli harakat.

3.13. KINETIK ENERGIYANING GIDRAVLIK TENGLAMASI. SUYUQLIKNING IDEAL HOLATDAGI BARQAROR HARAKATLANAYOTGAN ELEMENTAR OQIMCHALARI UCHUN BERNULLI TENGLAMASI

Bu tenglamani keltirib chiqarish uchun mexanika kursidan bizga ma'lum bo'lgan kinetik energiyaning o'zgarishi haqidagi teoremdan foydalanamiz. Eslatib o'tamizki, bu teoremda asosan, *ma'lum bir hisobiy oraliqda (masalan 1-1 va 2-2 masofada) harakatlanayotgan jismning kinetik energiyasi o'zgarishi – unga shu oraliqda ta'sir ko'rsatayotgan kuchlarning bajargan ishlari yig'indisiga teng.*

3.22-rasmda ifodalangan elementar oqimcha harakatini ko'rib chiqamiz. Elementar oqimchaning AV bo'lagini 1-1 va 2-2 kesimlar bilan chegaralab olamiz. Bu kesimlarni 00 taqqoslash tekisligidan ko'tarilish balandligini mos ravishda z_1 va z_2 deb belgilab olamiz. 1-1 va 2-2 harakatdagi kesimlar yuzasini $d\omega_1$ va $d\omega_2$ deb belgilab olamiz.

dt vaqt oralig'ida AV bo'lak A'B' oraliq masofani bosib o'tgan deb hisoblasak, 1-1 kesim dl_1 va 2-2 kesim dl_2 masofaga ko'chgan bo'ladi. Demak,

$$dl_1 = u_1 dt \text{ va } dl_2 = u_2 dt \quad (3.53)$$

bunda, u_1 va u_2 - 1-1 va 2-2 kesimlardagi tezliklar.

3.9 mavzudagi mulohazaga asosanib yozish mumkinki,

$$(AA') \text{ hajm} = (BB') \text{ hajm} = \delta V \text{ (belgilash kiritamiz)}$$

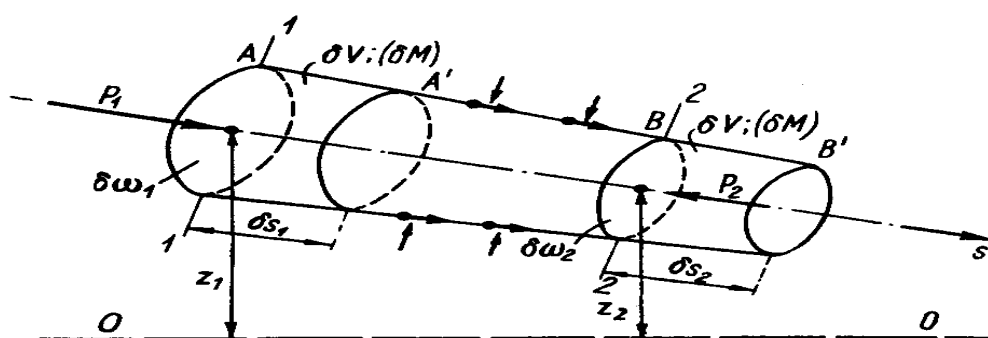
Demak,

$$dV = d\omega_1 dl_1 = d\omega_2 dl_2 = dQ dt \quad (3.54)$$

bunda dQ – elementar oqimcha sarfi.

Elementar hajm massasini quyidagicha hisoblashimiz mumkin:

$$dM = \rho dV = \frac{\gamma}{g} dV \quad (3.55)$$



3.22-rasm. (3.60) tenglamani chiqarishga doir

Endi AV bo'lakni A'B' vaziyatini egallashida kinetik energiya o'zgarishini va shu bo'lakka ta'sir etuvchi kuchlar bajargan ishlar yig'indisini topamiz.

AV bo'lakni A'B' vaziyatga o'tishida kinetik energiya bajargan ish:

$$\begin{aligned} dE_{K\Theta} &= E_{K\Theta}^{A'B'} - E_{K\Theta}^{AB} = E_{K\Theta}^{(A'B+BB')} - E_{K\Theta}^{(AA'+A'B)} = \\ &= E_{K\Theta}^{BB'} - E_{K\Theta}^{AA'} = \frac{u_2^2 dM}{2} - \frac{u_1^2 dM}{2} \end{aligned}$$

$$dE_{K\ominus} = \frac{\gamma}{g} dV \frac{u_2^2}{2} - \frac{\gamma}{g} dV \frac{u_1^2}{2} = \left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma dV \quad (3.56)$$

Kuchlar bajargan ish.

1. Og'irlik kuchi bajargan ish:

$$A_{oz,k} = (z_1 - z_2) \gamma dV \quad (3.57)$$

2. 1-1 va 2-2 kesimning yon tomonlarida ta'sir etuvchi gidrodinamik bosim kuchlari bajargan ish:

$$A_{oz,k} = (p_1 d\omega_1) dl_1 - (p_2 d\omega_2) dl_2 = (p_1 - p_2) dV \quad (3.58)$$

3. AV bo'lakning yon sirtlariga ta'sir etayotgan tashqi kuchlar bajargan ish nolga teng, chunki bu kuchlar harakatlanayotgan zarracha yo'nalishiga teng perpendikulyar yo'nalgandir.

4. Ichki bosim kuchlari bajargan ishlar yig'indisi nolga teng, chunki bu kuchlar juft bo'lib, bir-biriga teskari yo'nalgandir.

Xulosa. Yuqoridagi teoremaga asoslanib, quyidagini yozishimiz mumkin:

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

yoki

$$\boxed{z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}} \quad (3.59)$$

Bundan yozish mumkinki,

$$\boxed{z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const} \quad (\text{oqimcha bo'ylab})} \quad (3.60)$$

Bu tenglama Daniil Bernulli tomonidan 1738 yilda yozilgan bo'lib, *Bernulli tenglamasi* deyiladi.

3.14. SUYUQLIKNING IDEAL HOLATDAGI BARQAROR HARAKATLANAYOTGAN ELEMENTAR OQIMCHALARI UCHUN BERNULLI TENGLAMASINI EYLER TENGLAMALARIGA ASOSAN YOZILISHI

Ushbu tenglamani ideal holatdagi suyuqlik oqimining harakati differentsial tenglamalari sistemasiga asosan ham yozishimiz mumkin:

$$\phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t}$$

$$\phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_y}{\partial t}$$

$$\phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial t}$$

Eyler tenglamalarida hajmiy kuchlar sifatida faqat og'irlik kuchlarini qabul qilamiz:

$$\phi_x = 0; \quad \phi_y = 0; \quad \phi_z = -\rho g = -\gamma$$

Suyuqlikning barqaror sekin o'zgaruvchan harakati uchun:

$$\frac{\partial u_x}{\partial t} \approx \frac{\partial u_y}{\partial t} \approx \frac{\partial u_z}{\partial t} \approx 0$$

Tenglamalarda yuqoridagi vaziyatlarni inobatga olib, ularni mos ravishda quyidagi parametrlarga ko'paytiramiz va tezlik tashkil etuvchilarini tezlik bilan ifodalaymiz:

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

$$\begin{cases} u \frac{\partial u}{\partial x} = u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \\ u \frac{\partial u}{\partial y} = u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \\ u \frac{\partial u}{\partial z} = u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{cases}$$

$$udu = u \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

Ushbu o'zgarishlardan so'ng Eyler tenglamalar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{cases} -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = u \frac{\partial u}{\partial x} \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = u \frac{\partial u}{\partial y} \\ -g \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = u \frac{\partial u}{\partial z} \end{cases}$$

Ushbu o'zgarishlardan hadlarni o'zaro qo'shamiz:

$$-g \frac{\partial z}{\partial s} ds - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} ds + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} ds + \frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial s} ds \right) = u \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) = udu$$

bunda,

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} ds + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} ds + \frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial s} ds$$

demak,

$$-g \frac{\partial z}{\partial s} ds - \frac{1}{\rho} dp = udu$$

$$\gamma = \rho g \Leftrightarrow \rho = \frac{\gamma}{g} \Leftrightarrow \frac{1}{\rho} = \frac{g}{\gamma}$$

Bunda yuqoridagi munosabatlarni inobatga olib, hosil bo'ladigan ifodani har ikkala tomonini (-1) ga ko'paytiramiz va D.Bernulli tenglamasiga ega bo'lamiz, ya'ni

$$-gz - \frac{1}{\rho} p - \frac{u^2}{2} = \text{const}$$

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const} \quad (\text{oqim bo'ylab})$$

Lekin, ta'kidlash lozimki, D.Bernulli tenglamasi 1838 yilda muallif tomonidan kinetik energiyaning o'zgarishi teoremasiga asosan yozilgan bo'lsa, Eyler tenglamalari sistemasi esa oradan 17 yil o'tgandan so'ng yozilganligi sababli, mualliflar ushbu tenglamani D.Bernulli tomonidan yozilishiga asosiy e'tiboringizni qaratdi.

3.15. BERNULLI TENGLAMASI HADLARINING GEOMETRIK, GIDRAVLIK VA ENERGETIK MA'NOLARI

z – *geometrik balandlik* bo'lib, nisbiy gorizontal taqqoslash tekisligi (00) dan ko'rilayotgan oqimcha haraktdagi kesimining og'irlik markazigacha bo'lgan balandlikni, ya'ni shu oqimcha kesimining taqqoslash tekisligiga nisbatan yaratayotgan nabori yoki solishtirma potentsial energiyasini ifodalaydi.

$\frac{p}{\gamma}$ – harakatdagi kesim og'irlik markazidagi gidrodinamik bosim ta'sirida suyuqlikning ko'tarilish balandligi – *pezometrik balandlik* yoki *solishtirma potentsial energiyani* ifodalaydi.

$z + \frac{p}{\gamma}$ – *pezometrik napor* yoki *oqimning solishtirma potentsial energiyasi*

$\frac{u^2}{2g}$ – ko'rilayotgan kesim markazidagi tezlik hisobiga suyuqlikning

ko'tarilish balandligi, *tezlik nabori* yoki *oqimning solishtirma kinetik energiyasi*.

$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$ – *oqimning to'la nabori* yoki *to'la solishtirma energiyasi*.

Pito naychasi yordamida $\frac{u^2}{2g}$ kattalikni o'rganishimiz mumkin.

Pito naychasi pezometr yordamida h_u kattalik aniqlanadi.

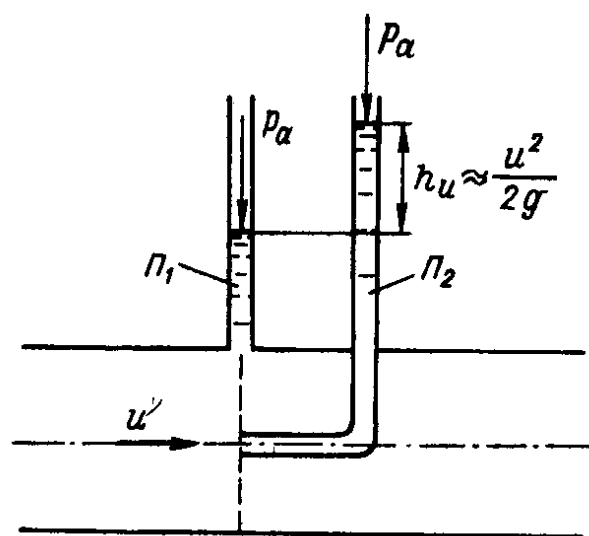
$$h_u = \frac{u^2}{2g} \quad (3.61)$$

Bu ifodadan foydalanib, qaralayotgan nuqtadagi tezlik hisoblanadi.

$$u = \sqrt{2gh_u} \quad (3.62)$$

Bu ifodaga ko'pgina hollarda φ – tuzatish koeffitsienti qo'shib yoziladi, chunki (3.62) ifoda ayrim hollarda ancha noaniq natija berishi mumkin.

$$u = \varphi \sqrt{2gh_u} \quad (3.63)$$



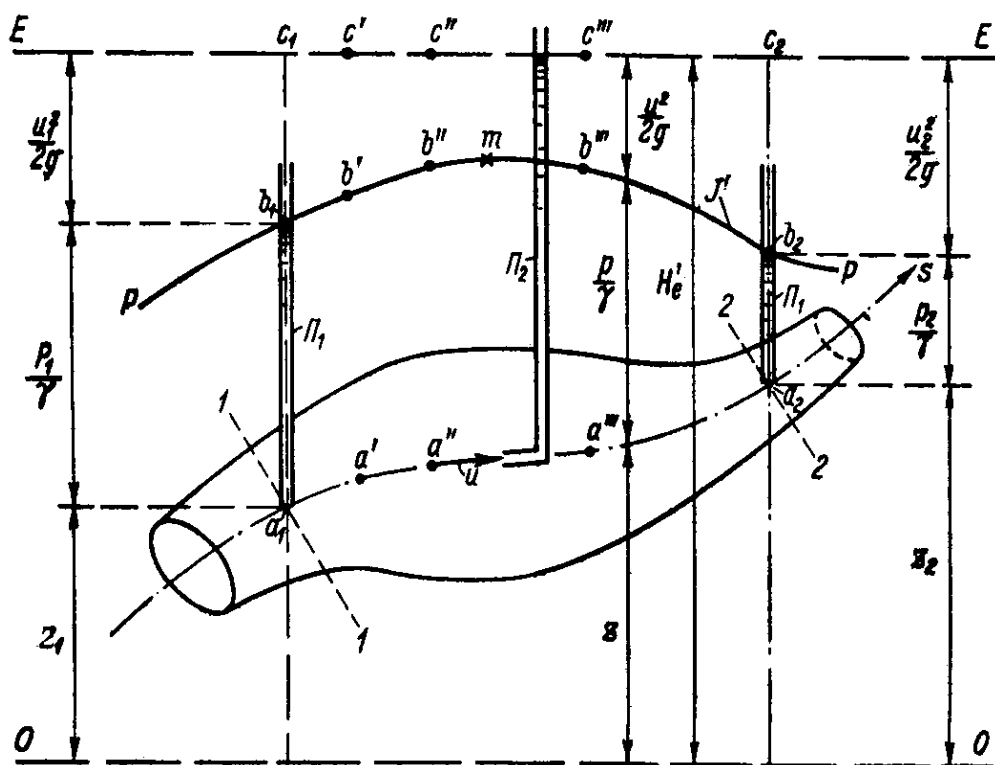
3.24-rasm. P_1 – pezometr, P_2 – Pito naychasi

3.16. BARQAROR HARAKATLANAYOTGAN IDEAL HOLATDAGI SUYUQLIKNING ELEMENTAR OQIMCHALARI UCHUN BERNULLI TENGLAMASINING GEOMETRIK TAHLILI. ELEMENTAR OQIMCHA UCHUN TO'LIQ NAPOR

Faraz qilaylik, 3.25-rasmda ifodalangan ideal suyuqlikning elementar oqimchasi mavjud bo'lib, unda OO taqqoslash tekisligida z_1 va z_2 masofa balandlikda joylashgan (1-1 va 2-2) kesimlarni belgilab olishimiz mumkin. Bu kesimlarda joylashgan a_1 va a_2 nuqtalar orqali yordamchi vertikallar o'tkazamiz va ularga Π_1 pezometrlarni o'rnatamiz. Yordamchi vertikallar va pezometrlardagi suyuqlik sathlari kesishgan nuqtalarni b_1 va b_2 deb belgilab olamiz. Bu nuqtalarga mos keluvchi tezlik naporlari kattaligini qo'yamiz. Buning natijasida c_1 va c_2 nuqtalarni olamiz.

Olingan natijalarga asoslanib, quyidagi xulosalarga kelamiz:

- $\frac{p}{\gamma}$ – balandlikdagi nuqtadan o'tuvchi, ya'ni suyuqlikning og'irligi hisobiga ko'tarilish sathlarini tutashtiruvchi chiziq ($R-R$) *pezometrik chiziq* deyiladi.



3.25-rasm. Ideal suyuqlikning elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi tahlili.

OO – taqqoslash tekisligi, $R-R$ – pezometrik chiziq, $E-E$ – napor chizig'i,

H'_e – to'liq napor, J' – pezometrik nishablik

- c nuqtadan o'tuvchi va $R-R$ pezometrik chiziqdan tezlik naporiga teng bo'lgan masofada yuqorida joylashgan chiziq *napor chizig'i* deyiladi.

- $\left[d\left(z + \frac{p}{\gamma} \right) \right]$ kattalikning ya'ni, $R-R$ pezometrik chiziqning ko'rilayotgan kesimlar orasida joylashishi birlik ds masofaga nisbatan qiymati *pezometrik nishablik* deyiladi.

$$J' = - \frac{d(z + p/\gamma)}{ds} \quad (3.64)$$

Ifodadagi manfiy qiymatning olinish sababi, $R-R$ chiziq oqim bo'ylab ko'tarilishida manfiy, tushishida musbat qiymat olinishini taminlashdadir.

- *To'liq napor* deganda, uchala hadning yig'indisi tushuniladi.

$$H'_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \quad (3.65)$$

Geometrik nuqtai nazardan H'_e napor chizig'ini taqqoslash tekisligi (00) dan qanchamasofa balandlikda joylashganligini ko'rsatadi.

$$H'_e = \text{const} \quad (\text{oqimcha bo'ylab})$$

3.17. BARQAROR HOLATDAGI ELEMENTAR OQIMCHALAR UCHUN BERNULLI TENGLAMASINING ENERGETIK TAHLILI

To'liq naporni tashkil etuvchi Bernulli tenglamasi hadlarini energetik nuqtai nazardan ko'rib chiqamiz. Birinchi ikki hadni potentsial napor deb qabul qilishimiz mumkin, ya'ni,

$$H = z + \frac{p}{\gamma} \quad (3.66)$$

Bu ifoda suyuqlikning berilgan kesimdan o'tayotgan birlik massasi uchun potentsial energiyasini bildiradi. Uchinchi had, ya'ni $\frac{u^2}{2g}$ – tezlik napor

suyuqlikning birlik massasiga mos keluvchi kinetik energiya miqdorini bildirib, *solishtirma kinetik energiya* deyiladi. Bunga ishonch hosil qilish uchun, M suyuqlik miqdorini u tezlik bilan harakatlanmoqda deb faraz qilamiz. Bu massa og'irligini Mg deb qabul qilishimiz tabiiy. Bunda $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – erkin tushish tezlanishi. Kinetik energiyani quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$K\mathfrak{E} = \frac{Mu^2}{2} \quad (3.67)$$

Bu energiyaning birlik massaga nisbatan miqdorini, ya'ni solishtirma kinetik energiyani olamiz

$$CK\mathfrak{E} = \frac{(K\mathfrak{E})}{\text{og'irlik}} = \frac{(K\mathfrak{E})}{Mg} = \frac{Mu^2}{2Mg} = \frac{u^2}{2g}$$

Yuqoridagiga asoslanib, H'_e to'liq napor, ikkala potentsial va tezlik naporlar yig'indisidan iborat. Yana boshqacharoq shaklda ifodalashimiz mumkin, ya'ni to'liq napor geometrik (z), bosim (p/γ) va tezlik ($u^2/2g$) naporlari yig'indisidan iborat.

Yuqoridagi fikrlarimizdan xulosa qilishimiz mumkinki, *oqimchaning to'liq nabori* deganda berilgan kesimdan birlik vaqt oralig'ida oqib o'tayotgan suyuqlikning mexanik energiyasi miqdorini bildiruvchi kattalik tushuniladi. Ideal holatdagi suyuqliklar uchun bu kattalik o'zgarmaydi.

3.18. KINETIK ENERGIYANING GIDRAVLIK TENGLAMASI. BARQAROR HARAKATLANAYOTGAN REAL SUYUQLIKNING ELEMENTAR OQIMCHASI UCHUN BERNULLI TENGLAMASI. ELEMENTAR OQIMCHANING YON SIRT LARI ORQALI MEXANIK ENERGIYA «DIFFUZIYASI»

Yopishqoq real suyuqlik o'z harakatida ishqalanish kuchi mavjudligi bilan harakatlanadi. Bu kuch ikki xil rol o'ynaydi.

- Ishqalanish kuchi hisobiga harakatlanayotgan suyuqlikning mexanik energiyasining bir qismi issiqlik energiyasiga aylanadi va u oqimcha bo'ylab tarqaladi;
- Ishqalanish kuchi mavjudligi tufayli oqimning elementar oqimchalari mexanik energiyalari biridan ikkinchisiga o'tadi, ya'ni o'ziga xos mexanik energiya diffuziyasi ro'y beradi.

Bu vaziyat hisobiga, markazdagi elementar oqimchalar solishtirma energiyasi oqim uzunligi bo'ylab $(-\Delta E)$ kamayib, shunga mos ravishda qattiq devorga yaqin sohadagi oqimchalar energiyasi shu miqdorga oshadi. $(+\Delta E)$.

Shunga asoslanib, real suyuqlikning elementar oqimchasi uchun solishtirma energiya muvozanat tenglamasini yozamiz

$$H'_{e1} = H'_{e2} \pm \Delta E + h'_f \quad (3.68)$$

yoki

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} = \pm \Delta E + h' \quad (3.69)$$

bunda, H'_{e1} va H'_{e2} – mos ravishda 1-1 va 2-2 kesimlar uchun to'liq solishtirma energiyalar; h'_f – elementar oqimchaning 1-1 va 2-2 harakatdagi kesimlar oralig'ida ishqalanish kuchlarining issiqlik energiyasiga aylanishi hisobiga napor yo'qolishining birlik massaga nisbatan olingan miqdori.

Ayrim elementar markazdagi elementar oqimchalar solishtirma energiyasi oqim uzunligi bo'ylab $(-\Delta E)$ kamayish miqdori shunga mos ravishda qattiq devorga yaqin sohadagi oqimchalar energiyasi oshish miqdoriga tenglashadi. $(+\Delta E)$, ya'ni

$$(-\Delta E) = (+\Delta E)$$

Shu sababli, quyidagicha ifodani yozishimiz mumkin:

$$\Delta E = 0$$

Bunda diffuzion o'zgarishning musbat va manfiy miqdorlari o'zaro teng deb qabul qilamiz.

Shunga asoslanib, **barqaror harakatlanayotgan real suyuqlikning elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasini yozishimiz mumkin:**

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_f \quad (3.70)$$

Bu xususiyl holda,

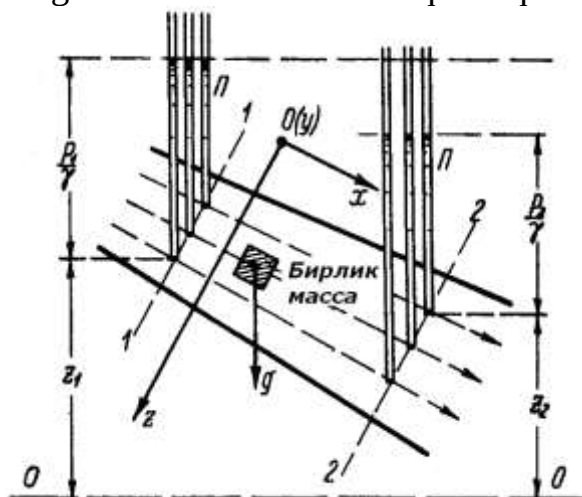
$$h'_f = H'_{e1} - H'_{e2} \quad (3.71)$$

Endi bundan keyingi muammo – bu tenglamani elementar oqimchalar uchun ko‘rinishini butun oqim uchun ifodalashga harakat qilamiz. Buning uchun dastlab ikki ko‘maklashuvchi vaziyat bilan tanishamiz.

3.19. TEKIS VA TEKIS O‘ZGARUVCHAN HARAKATLANAYOTGAN SUYUQLIKNING HARAKATDAGI KESIMI BO‘YLAB BOSIM TAQSIMLANISHI (birinchi ko‘maklashuvchi vaziyat)

Barqaror harakat bilan tanishib, bunda hajmiy kuch sifatida, faqat og‘irlik kuchi mavjud deb hisoblaymiz, harakatdagi kesimni esa tekis deb qabul qilamiz.

3.26-rasmda tekis o‘zgaruvchan harakatdagi oqim tasvirlangan bo‘lib, unda 1-1 va 2-2 kesimlar tanlab olamiz, bu kesimlarning turli nuqtalariga pezometrlar o‘rnatamiz. Bu pezometrlardagi suyuqlik sathi bir xil bo‘lib, bu holat z va r/γ kattaliklar – kesimlarning turli nuqtalarida har xil - kattalikka ega bo‘lsada, ularning yig‘indisi bir xil ekanligini ko‘rsatadi.



3.26-rasm. Tekis harakatdagi kesimlarda bosimning taqsimlanishi

Boshqa kesim uchun bu kattalik boshqa qiymatga ega bo‘ladi, lekin o‘sha kesimning hamma nuqtalari uchun o‘zgarmas bo‘ladi.

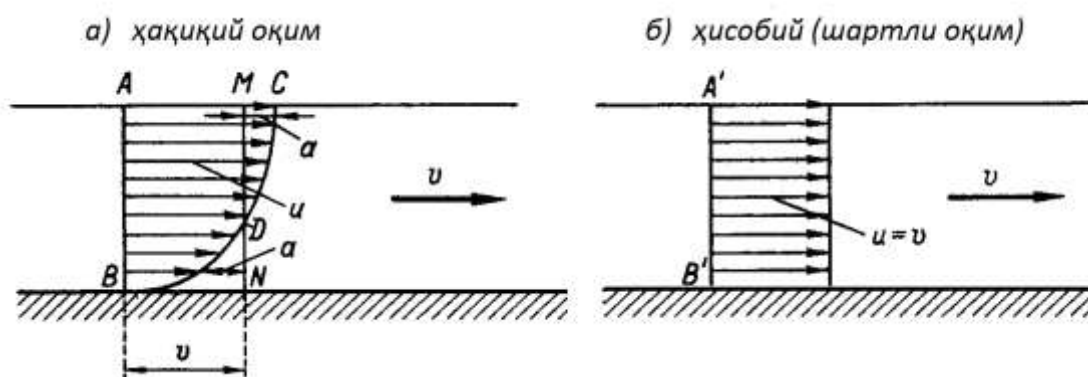
$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{const} \quad (\text{qaralayotgan kesim uchun}) \quad (3.72)$$

Demak, xulosa qilish mumkinki, tekis va tekis o‘zgaruvchan harakatda qaralayotgan kesim bo‘ylab bosim taqsimlanishi gidrostatik qonunga bo‘ysunadi. Bu holat – elementar oqimchadan butun oqimni o‘rganishga o‘tishdagi *birinchi ko‘maklashuvchi vaziyat* deyiladi.

3.20. IXTIYORIY SHAKLDAGI HARAKATDAGI KESIM ORQALI OQIB O'TAYOTGAN SUYUQLIK MASSASINING KINETIK ENERGIYASI MIQDORIGA VA HARAKATLAR MIQDORI KATTALIGIGA HARAKATDAGI KESIM BO'YLAB TEZLIK TAQSIMLANISHI NOTEKISLIGINING TA'SIRI (ikkinchi ko'maklashuvchi vaziyat)

3.27-rasmda ifodalangan oqimning uzunlik bo'yicha qirqimida ikkita harakatdagi kesimni tanlab olamiz. AB va $A'B'$ kesimlardagi (Q) sarfni va ularning geometrik o'lchamlarini bir xil deb qabul qilamiz. Lekin, AV harakatdagi kesim bo'ylab tezlik taqsimlanishi notekis bo'lib, bu kesim uchun bo'ylama qirqim 3.27, a -rasmda ifodalangan va uni bundan buyon *haqiqiy oqim bo'ylama qirqimi* deb yuritamiz. 3.27, b -rasmdagi sxema esa, *hisobiy (shartli) oqimning bo'ylama qirqimideb* yuritamiz. Hisobiy oqim harakatdagi kesimidan suyuqlikning barcha zarrachalari bir xil v o'rtacha tezlik bilan oqib o'tadi deb qabul qilamiz. Suyuqlikning AB kesimdan dt oniy vaziyatda oqib o'tayotgan M massasining harakatlar miqdorini XC va kinetik energiyasini KE deb belgilab olamiz. (3.27, a -rasm). Shu dt oniy vaziyatda $A'B'$ harakatdagi kesim orqali o'tgan M massaning harakatlar miqdorini va kinetik mos ravishda $[XM(M)]_{o'r}$ va $[KE(M)]_{o'r}$ deb belgilab olamiz.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, $XM(M)$ va $KE(M)$ kattaliklarni hisoblashda harakatdagi kesimning turli nuqtalaridagi u tezlik miqdori turlicha ekanligi hisobga olinadi, shu sababli yuqoridagi kattaliklar haqiqiy deb qabul qilinadi. $[XM(M)]_{o'r}$ va $[KE(M)]_{o'r}$ kattaliklarni hisoblashda esa, u tezlik kattaligi butun kesim bo'ylab bir xil deb qabul qilinadi va o'rtacha tezlikka tenglanadi. Yuqoridagi kattaliklar esa o'rtacha tezlik bo'yicha hisoblangan o'rtacha qiymatli kattaliklar deyiladi.



3.27-rasm. α_0 va α koeffitsientlarning mohiyatini aniqlashga doir

Bizning asosiy vazifamiz a va b sxemalar uchun aniqlangan XM va KE kattaliklarni miqdoriy taqsimlashdan iborat. Boshqacha qilib talqin qilinganda, M massaning XM va KE kattaliklariga harakatdagi kesim bo'ylab tezlik taqsimlanishining notekisligi qanday ta'sir ko'rsatishini o'rganishimiz kerak. Buning uchun quyidagi munosabatni o'rganishimiz kerak:

$$XC(M):[XC(M)]_{yp} \text{ va } KE(M):[KE(M)]_{yp}.$$

Buning uchun [(3.27, 3.28, 3.29)] ifodalar asosida tasdiqlangan quyidagi munosabatlarni yozib olamiz:

$$dQ = u d\omega; \quad Q = \int_{\omega} u d\omega = v\omega; \quad (3.73)$$

$$dV = dt dQ; \quad V = dt \int_{\omega} u d\omega = v\omega dt; \quad (3.74)$$

$$dM = \rho dV = \rho u d\omega dt; \quad (3.75)$$

$$M = \rho dt \int_{\omega} u d\omega = \rho v\omega dt. \quad (3.76)$$

bunda, $d\omega$ – harakatdagi kesimning elementar yuza kattaligi; V – dt vaqt oralig‘ida harakatdagi kesimdan o‘tgan suyuqlik hajmi; M – shu hajm massasi.

1⁰. M massaning harakatlar miqdoriga (XM) yassi harakatdagi kesim buylab u tezlik taqsimlanishi notekisligining ta’siri.

dM massaning haqiqiy harakatlar miqdori

$$XC(dM) = u dM = \rho u^2 d\omega dt \quad (3.77)$$

M massaning harakatlar miqdori esa

$$XC(M) = \int_{\omega} XC(dM) = \rho dt \int_{\omega} u^2 d\omega \quad (3.78)$$

M massaning «o‘rtacha» harakatlar miqdorini quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$[XC(M)]_{yp} = vM = v(\rho v\omega dt) = \rho v^2\omega dt \quad (3.79)$$

bunda

$$XC(M) > [XC(M)]_{yp} \quad (3.80)$$

Haqiqatan ham,

$$XC(M) = \rho dt \int_{\omega} u^2 d\omega = \rho dt \int_{\omega} (v + a)^2 d\omega \quad (A)$$

bunda, a – manfiy yoki musbat kattalik, $a = u - v$ (qarang 3.27, a -rasm) .

Rasmga asosan,

$$\int_{\omega} a d\omega = 0 \quad (B)$$

Harakat davomida MSD va VDN yuzalar tenglashishi mumkin. Shunga asosan,

$$\begin{aligned} XC(M) &= \rho dt \left[\int_{\omega} v^2 d\omega + 2 \int_{\omega} v a d\omega + \int_{\omega} a^2 d\omega \right] = \rho dt \left[v^2 \int_{\omega} d\omega + 2v \int_{\omega} a d\omega + \int_{\omega} a^2 d\omega \right] = \\ &= \rho dt \left[v^2 \omega + \int_{\omega} a^2 d\omega \right] = \rho v^2 \omega dt + \rho dt \int_{\omega} a^2 d\omega = [XC(M)]_{yp} + \rho dt \int_{\omega} a^2 d\omega, \end{aligned}$$

oxirgi had doimo musbat bo‘lib, nolga yaqinlashadi, faqat $a = 0$ bo‘lgan holda $u = v$ (ya’ni, haqiqiy tezliklar harakatdagi kesim bo‘ylab tekis taqsimlanadi) .

Bu vaziyat (3.80) ifodaning to‘g‘riligini tasdiqlaydi.

Endi (3.78) ifodaning (3.79) ifodaga nisbatini α_0 deb belgilaymiz. Ya’ni,

$$\frac{XC(M)}{[XC(M)]_{yp}} = \frac{\int_{\omega} u^2 d\omega}{v^2 \omega} = \alpha_0 \text{ (belgi)} \quad (3.81)$$

Bunga asosan,

$$\int_{\omega} u^2 d\omega = \alpha_0 v^2 \omega \quad (3.82)$$

$$XC(M) = \alpha_0 [XC(M)]_{yp} = \alpha_0 \rho v^2 \omega dt = \alpha_0 \rho v Q dt \quad (3.83)$$

Demak, ta'kidlash mumkinki, dt vaqt oralig'ida harakatdagi kesimdan o'tayotgan M massa harakatlar miqdorining haqiqiy kattaligi, kesimdan o'tayotgan zarrachalar tezligi bir xil v kattalikka teng deb hisoblab, aniqlangan harakatlar miqdorining shartli (o'rtacha) qiymatini tuzatish koeffitsientiga (α_0) ko'paytmasiga teng.

2⁰. M massaning yassi harakatdagi kesim bo'ylab tezlik taqsimlanishi bir xil emasligining kinetik energiyaga ta'siri.

dM massaning haqiqiy kinetik energiyasi [(3.75) ifodaga qarang]:

$$K\mathcal{E}(dM) = \frac{u^2 dM}{2} = \frac{1}{2} \rho u^3 d\omega dt \quad (3.84)$$

M massaning haqiqiy kinetik energiyasini yozamiz:

$$K\mathcal{E}(M) = \frac{1}{2} \rho dt \int_{\omega} u^3 d\omega \quad (3.85)$$

M massaning «o'rtacha» kinetik energiyasi qiymati:

$$[K\mathcal{E}(M)]_{yp} = \frac{Mv^2}{2} = \frac{1}{2} \rho v^3 \omega dt \quad (3.86)$$

bunda

$$K\mathcal{E}(M) > [K\mathcal{E}(M)]_{yp} \quad (3.87)$$

holatni hisobga olamiz.

Ularning nisbatlarini α deb belgilaymiz, ya'ni

$$\frac{K\mathcal{E}(M)}{[K\mathcal{E}(M)]_{yp}} = \frac{\int_{\omega} u^3 d\omega}{v^3 \omega} = \alpha \text{ (belgi)} \quad (3.88)$$

Bunga asosan,

$$\int_{\omega} u^3 d\omega = \alpha v^3 \omega \quad (3.89)$$

$$K\mathcal{E}(M) = \alpha [K\mathcal{E}(M)]_{yp} = \alpha \frac{1}{2} \rho v^3 \omega dt \quad (3.90)$$

Demak, (3.90) ifodaga asosan dt vaqt oralig'ida qarayotgan harakatdagi kesimdan oqib o'tgan M massaning haqiqiy kinetik energiyasi, v o'rtacha tezlikka asosan hisoblangan shartli (o'rtacha) kinetik energiyaning α tuzatish koeffitsientining ko'paytmasiga teng.

3.21. TO'LIQ OQIM UCHUN TO'LIQ NAPOR

Aniq kattalikli ko'ndalang kesimga ega bo'lgan oqimni *to'liq oqim* deb olamiz. Oqimning o'rtacha tezligi v vaqtinchalikdan foydalangan holda, tekis o'zgaruvchan va parallel oqimchali harakatlar bilan tanishishda davom etamiz. Bunday harakatlarda oqimning harakatdagi kesimi yassi deb qabul qilishini bilamiz. Bizga ma'lumki, har qaysi elementar oqimcha (3.65) ifoda bilan aniqlanuvchi H'_e to'liq naporga ega bo'lib, bu napor butun harakatdagi kesimning gidrodinamik xarakteristikasi hisoblanadi.

Taxlilimizni quyidagicha davom ettiramiz:

- 1) (3.65) ifodani $d\omega$ elementar yuza orqali dt vaqt oralig'ida oqib o'tayotgan suyuqlik og'irligi ($\gamma dQdt$) ga ko'paytirib, shu vaqt oralig'ida suyuqlik olib o'tgan mexanik energiyani aniqlaymiz;
- 2) Harakatdagi kesimdan dt vaqt oralig'ida oqim olib o'tgan mexanik energiyani olish uchun yuqorida olingan ifodani integrallaymiz;
- 3) Olingan energiyani qiymatini γQdt ifodaga bo'lib, oqim olib o'tayotgan mexanik energiyaning birlik qiymatini aniqlaymiz.
- 4) Bu kattalikni H_e to'liq napor deb qabul qilib, uni H'_e kattalikning o'rtacha qiymati ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

Bu holatda $dQ = u d\omega$, $Q = v\omega$ ni hisobga olib, quyidagilarni yozishimiz mumkin:

$$H_e = \frac{\int H'_e(\gamma dQdt)}{\gamma Qdt} = \frac{\int \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \right) dQ}{Q} = \frac{\int \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) dQ}{Q} + \frac{\int \frac{u^2}{2g} u d\omega}{v\omega} \quad (3.91)$$

yoki (3.72) ifodani e'tiborga olganimizda,

$$H_e = \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) \frac{\int dQ}{Q} + \frac{1}{2g} \frac{\int u^3 d\omega}{v\omega} \quad (3.92)$$

(3.89) ifodani hisobga olsak,

$$H_e = \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) + \frac{1}{2g} \frac{(\alpha v^3 \omega)}{v\omega} \quad (3.93)$$

va nixoyat,

$$\boxed{H_e = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}} \quad (3.94)$$

deb yozishimiz mumkin. To'liq oqim uchun solishtirma energiya yoki tezlik nabori oqimining o'rtacha tezligi yordamida quyidagicha ifodalanadi:

$$\boxed{h_v = \frac{\alpha v^2}{2g}} \quad (3.95)$$

bunda, α – kinetik energiya korrekтиви.

3.22. KINETIK ENERGIYA TUZATISH KOEFFITSIENTI (KORREKTIVI – α) NING VA HARAKATLAR MIQDORI TUZATISH KOEFFITSIENTLARI (α_0) NING ANIQLANISH FORMULALARI VA TAJRIBAVIY QIYMATLARI

Bu koefitsientlarning qiymatlari doimo birdan katta bo'lib, harakatdagi kesim bo'ylab tezlik taqsimlanishining bir xil emasligi qancha yuqori bo'lsa, bu koefitsientlarning qiymati shuncha miqdorda birdan katta bo'ladi.

α_0 – koefitsientni oqimning harakatlar miqdori tuzatish koefitsienti yoki *Bussinesk koefitsienti*, α esa, oqimning kinetik energiyasi korrektivi yoki *Koriolis koefitsienti* deyiladi.

Oqimning notekis harakatida ayrim hollarda bu kattaliklar birdan keskin farq qilishi mumkin. Shu bilan birgalikda, ko'pincha amaliyotda bu kattalik qiymati birga yaqin bo'ladi. Shu sababli ko'pincha, amaliy hisoblarda bu kattaliklar birga teng deb qabul qilinadi, ya'ni hisobga olinmaydi.

Koriolis koefitsientini aniqlash uchun quyidagicha fikr yuritish mumkin. Faraz qilaylik, qaralayotgan hisobiy tekis harakatdagi kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi tezlik (mahalliy tezlik) – i shu kesimdagi o'rtacha tezlik (v) dan $\pm \Delta u$ miqdorga farq qiladi, ya'ni:

$$u = v \pm \Delta u$$

(3.88) asosanib, quyidagi ifodani yozib olamiz,

$$\alpha = \frac{1}{\omega_\omega} \int \left(\frac{v \pm \Delta u}{v} \right)^3 d\omega = \frac{1}{\omega_\omega} \int \left(1 \pm \frac{\Delta u}{v} \right)^3 d\omega = \frac{1}{\omega_\omega} \int \left[1 + 3 \left(\frac{\Delta u}{v} \right)^2 \pm 3 \frac{\Delta u}{v} \pm \left(\frac{\Delta u}{v} \right)^3 \right] d\omega$$

Bu ifodada doimo $\int_\omega \Delta u d\omega = 0$, chunki

$$Q = \int_\omega (v \pm \Delta u) d\omega = \int_\omega v d\omega \pm \int_\omega \Delta u d\omega = Q \pm \int_\omega \Delta u d\omega$$

bundan,

$$\int_\omega \Delta u d\omega = 0,$$

va nihoyatda kichik bo'lganligi sababli,

$$\int_\omega \left(\frac{\Delta u}{v} \right)^3 = \frac{1}{v^3} \int_\omega \Delta u^3 d\omega \approx 0,$$

deb qabul qilib olishimiz mumkin.

Bu o'zgarishlarni inobatga olib,

$$\alpha = \frac{1}{\omega_\omega} \int \left[1 + 3 \left(\frac{\Delta u}{v} \right)^2 \right] d\omega = 1 + \frac{3}{\omega_\omega} \int \left(\frac{\Delta u}{v} \right)^2 d\omega$$

Bussinesk koefitsientini aniqlash uchun ham quyidagicha fikr yuritish mumkin. Faraz qilaylik, qaralayotgan hisobiy tekis harakatdagi kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi tezlik (mahalliy tezlik) – i shu kesimdagi o'rtacha tezlik (v) dan $\pm \Delta u$ miqdorga farq qiladi, ya'ni:

$$u = v \pm \Delta u$$

Quyidagi ifodaga $\int_{\omega} u^2 d\omega = \alpha_0 v^2 \omega$ asoslanib, quyidagi ifodani yozib olamiz,

$$\begin{aligned}\alpha_0 &= \frac{1}{\omega} \int_{\omega} \left(\frac{v \pm \Delta u}{v} \right)^2 d\omega = \frac{1}{\omega} \int_{\omega} \left(1 \pm \frac{\Delta u}{v} \right)^2 d\omega = \\ &= \frac{1}{\omega} \int_{\omega} \left[1 + 2 \frac{\Delta u}{v} \pm \left(\frac{\Delta u}{v} \right)^2 \right] d\omega = 1 + \frac{1}{\omega} \int_{\omega} \left(\frac{\Delta u}{v} \right)^2 d\omega\end{aligned}$$

Chunki, $\int_{\omega} \Delta u d\omega = 0$, ekanligini yuqorida isbotladik.

Tekis harakatda bu koeffitsientlar teng tajribalar natijasida aniqlangan qiymati quyidagicha olinishi mumkin.

$$\alpha_0 \approx 1,03 \div 1,05; \quad \alpha \approx 1,10 \div 1,15$$

3.23. BARQAROR HARAKATLANAYOTGAN REAL SUYUQLIK OQIMI KINETIK ENERGIYASINING GIDRAVLIK TENGLAMASI (BERNULLI TENGLAMASI)

Yon devorlari suv o'tkazmas materialdan iborat ochiq o'zanda harakatlanayotgan oqim bilan tanishamiz. Faraz qilaylik, o'zanning yon devorlaridan qo'shimcha miqdor qo'shilmaydi va o'ta olmagan oqimning ayrim miqdori ketmaydi. Ishqalanish kuchi bajargan ish hisobiga oqimning energiyasi oqim bo'ylab kamayadi. Demak, real (yopishqoq) suyuqliklar uchun

$$H_{e_1} > H_{e_2}$$

munosabat o'rinlidir. Bunda, H_{e_1} va H_{e_2} – qaralayotgan kesimlardagi to'liq naporlar (3.28-rasm).

Bu munosabatni va (3.94) ifodalarni hisobga olib, to'liq oqimning gidravlik tenglamasini, ya'ni barqaror harakatlanayotgan real suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f \quad (3.96)$$

yoki energetik nuqtai nazaridan

$$H_{e_1}(\gamma Q t) - H_{e_2}(\gamma Q t) = h_f(\gamma Q t) \quad (3.97)$$

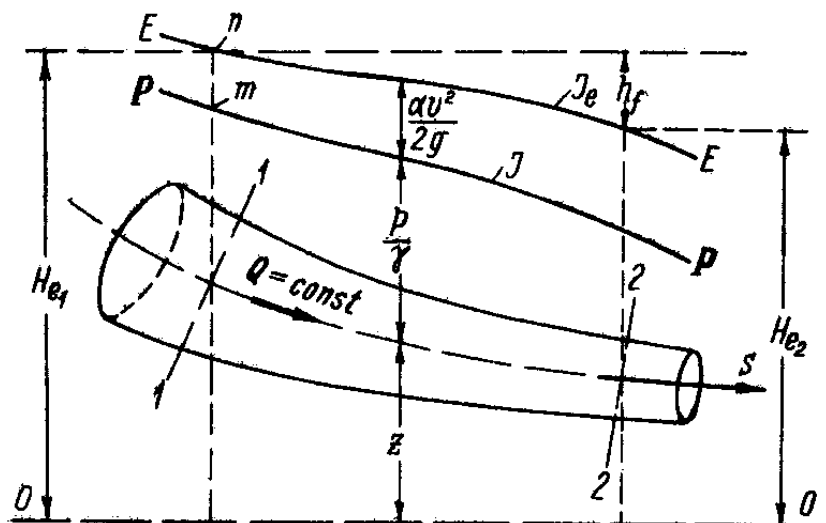
bunda

$$h_f = H_{e_1} - H_{e_2} \quad (3.98)$$

napor yo'qolishi yoki suyuqlik oqimining solishtirma kinetik energiyasining o'zgarishi (ma'lum bir qismini mexanik energiyaga –issiqlikka aylanishi) deyiladi. Ya'ni, 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida ishqalanish hisobiga oqimning harakatiga bo'lgan to'sqinlikni yengib o'tish uchun sarflangan napor miqdoridir.

3.28-rasmda R-R pezometrik va E-E napor chiziqlari ko'rsatilgan. Bunda E-E chiziq oqim harakati bo'ylab napor yo'qolishi hisobiga gorizontol holatda

bo'lmaydi. Bu elementar yo'qolishni $\left[-d \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right) \right]$ birlik ds masofaga nisbatan qiymatini *gidravlik nishablik* deb atab, J_e harfi bilan belgilaymiz



3.28-rasm. Barqaror harakatdagi real suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasining geometrik interpretatsiyasi.

$0-0$ – taqqoslash tekisligi; $R-R$ – pezetimetrik chiziq; $E-E$ – to'la napor chizig'i; H_{e1} va H_{e2} – to'liq naporlar; h_f – napor yo'qolishi; J_e – pezetimetrik nishablik.

$$J_e = -\frac{dH_e}{dl} \quad (3.99)$$

yoki

$$J_e = -\frac{d \left(z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right)}{dl} \quad (3.100)$$

$$J_e = +\frac{dh_f}{dl} \quad (3.101)$$

Umuman, real suyuqliklar uchun gidravlik nishablik musbat qiymatga ega bo'ladi: $J_e > 0$; faqat ideal suyuqliklar uchun bu kattalik nolga teng bo'ladi: $J_e = 0$. Pezetimetrik nishablik tushunchasi bilan tanishamiz (qarang §3.17-mavzu).

$$J = -\frac{d}{dl} \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) \quad (3.102)$$

3.28-rasm orqali biz butun gidrodinamik ko'rinishni ifodalashimiz mumkin.

a) s oqim o'qi va $R-R$ chiziq bilan chegaralangan shakl bizga r/γ ifodaning o'zgarish epyurasini ko'rsatib turibdi.

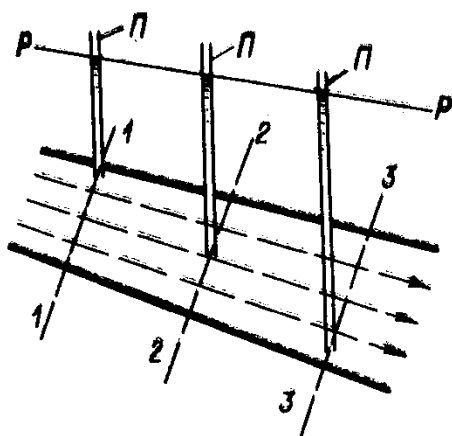
b) $R-R$ va $E-E$ chiziqlar bilan chegaralangan shakl esa $\frac{\alpha v^2}{2g}$ tezlik naporini o'zgarishini ko'rsatadi.

c) $R-R$ va 00 taqqoslash tekisligi orasidagi shakl esa oqim bo'ylab potentsial napor o'zgarishini ko'rsatadi.

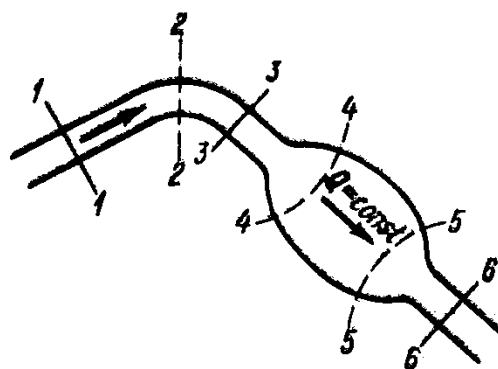
d) *E-E* chiziq va *00* taqqoslash tekisligi orasidagi shakl to'liq napor o'zgarishini ko'rsatadi.

Bernulli tenglamasi ikki kesimning gidrodinamik elementlari o'rtasidagi bog'liqlikni ko'rsatishini ta'kidlashimiz mumkin. (3.96) ifodaga kiruvchi z_1 va z_2 hadlar 1-1 va 2-2 kesimlar nuqtalarining *00* taqqoslash tekisligidan balandligini ko'rsatsa, r_1/γ va r_2/γ hadlar bu kesimlarning nuqtalaridagi bosim hisobiga yaratilgan pezometrik balandlikni bildiradi. Bu qanaqa nuqtalar degan savolga shunday javob izlashimiz mumkin:

§3.20-mavzudagi mulohazalarga asosan oqimning sekin o'zgaruvchan va parallel harakatida $z + p/\gamma = \text{const}$ bo'lib, kesimning qaysi nuqtasiga pezometrik naycha o'rnatilishidan qat'iy nazar, bu kattalik qiymati o'zgarmaydi (3.29-rasm).



3.29-rasm. *R-R* chiziqni chizishga doir



3.30-rasm. Bernulli tenglamasining qo'llanilish sharti

Shuni doimo yodda tutish kerakki, *R-R* va *E-E* chiziqlardan o'tuvchi vertikalda yotuvchi har qanday nuqta juftligi ma'lum bir oqimning harakatdagi kesimiga ta'luqlidir.

Yuqoridagilarni hisobga olganda, Bernulli tenglamasini qo'llash uchun quyidagi uchta asosiy shartlar mavjuddir:

1 – shart. 1-1 va 2-2 kesimlar orasida oqim sarfi doimiy bo'lishi kerak ($Q=\text{const}$).

2 – shart. (3.60) ifodani chiqarishda 1-1 va 2-2 kesimlar orasida oqimning kinetik energiyasi doimiy deb hisoblanganligi sababli, oqim harakati bu oraliqda barqaror bo'lishi kerak (3.29-rasm).

3 – shart. Kesimlar oralig'ida harakat tez o'zgaruvchan bo'lsada, kesimlarda oqim harakati sekin o'zgaruvchan yoki tekis bo'lishi kerak. Chunki, $z + p/\gamma = \text{const}$ sharti bajarilishi kerak.

3.30-rasmda sekin o'zgaruvchan harakat sohasi butun chiziqlar bilan va tez o'zgaruvchan harakat sohasi shtrixlangan chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, Bernulli tenglamasi bilan 1 va 3, 3 va 6 va x.k. kesimlarni birlashtirish mumkin, lekin 1 va 2 yoki 2 va 4 va x.k. kesimlarni Bernulli tenglamasi bilan birlashtirish mumkin emas.

3.24. OQIMNING BARQAROR HARAKATIDA NAPOR VA PEZOMETRIK CHIZIQLARNING KO'RINISHLARI HAQIDA UMUMIY KO'RSATMALAR. BERNULLI TENGLAMASIGA KIRUVCHI HADLAR HAQIDA QO'SHIMCHA MULOHAZALAR

1⁰. Tekis harakat bo'lgandagi holat.

Naporli va naporsiz harakatlar bilan tanishamiz. Naporli harakatni 3.31-rasmda ifodalangan D quvo'ring l uzunlikdagi bo'lagida kuzatish mumkin. Oqimning oqishi har qanday kesimda o'zgarmasligi sababli, yo'qolish ham o'zgarmaydi. Shu sababli, $E-E$ napor chizig'i qiyaligi o'zgarmasdir $J_e = \text{const}$ (oqim bo'ylab).

Xulosa qilish mumkinki,

$$\frac{\alpha v^2}{2g} = \text{const} \quad (\text{oqim bo'ylab}) \quad (3.103)$$

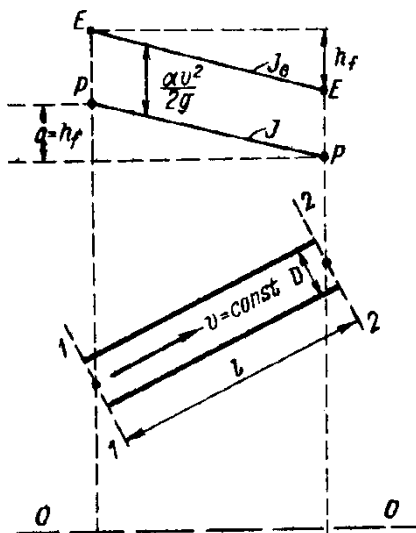
bo'lganligi sababli, oqimning napor ostidagi tekis harakatida $R-R$ pezometrik chiziq ma'lum qiyalikdagi to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'lib, napor chizig'iga parallel bo'ladi. $E-E$ chiziqning uzunlik bo'ylab kamayishi shu soha oralig'ida napor yo'qolishini ko'rsatadi.

$$a = h_f \quad (3.104)$$

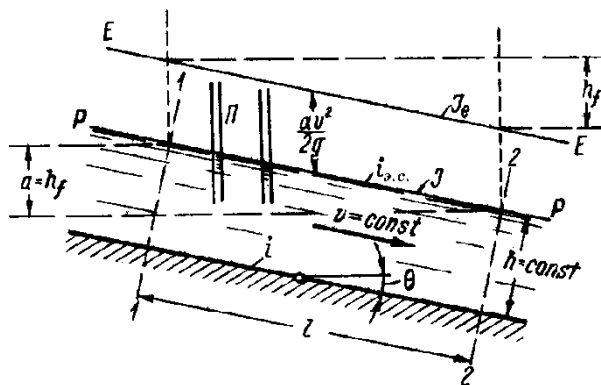
Napor ostidagi tekis harakat uchun

$$J_e = J = \frac{h_f}{l} = \frac{a}{l} \quad (3.105)$$

ifoda o'rinlidir.



3.31-rasm. Oqimning tekis napor ostidagi harakatida $R-R$ va $E-E$ chiziqlar



3.32-rasm. Oqimning tekis naporsiz harakatida $R-R$ va $E-E$ chiziqlar

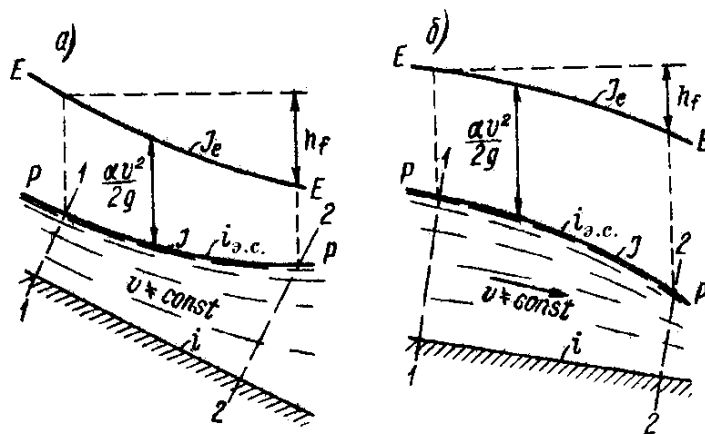
Naporsiz harakat. Bu holatda (3.32-rasm) pezometrik chiziq oqimning erkin sath chizig'i bilan ustma-ust tushadi. Demak,

$$J_e = J = i_{s.c} = i = \frac{h_f}{l} = \frac{a}{l} \quad (3.106)$$

bunda, i – o‘zan tubi nishabligi;
 $i_{e.s.}$ – oqim erkin sath nishabligi;
 a – erkin sathning l uzunlikdagi pasayishi.

2^o. **Notekis harakatdagi holat.**

Bunda faqat naporsiz harakatni taxlil qilish bilan



3.33-rasm. Naporsiz notekis harakatda

$R-R$ va $E-E$ chiziqlar shakllari

chegaralanamiz (3.33-rasm). Bunda quyidagi holatni kuzatish mumkin:

$$J_e \neq J = i_{e.s.} \neq i \quad (3.107)$$

3.25. BARQAROR HARAKATDAGI OQIM UCHUN HARAKATLAR MIQDORINING GIDRAVLIK TENGLAMASI

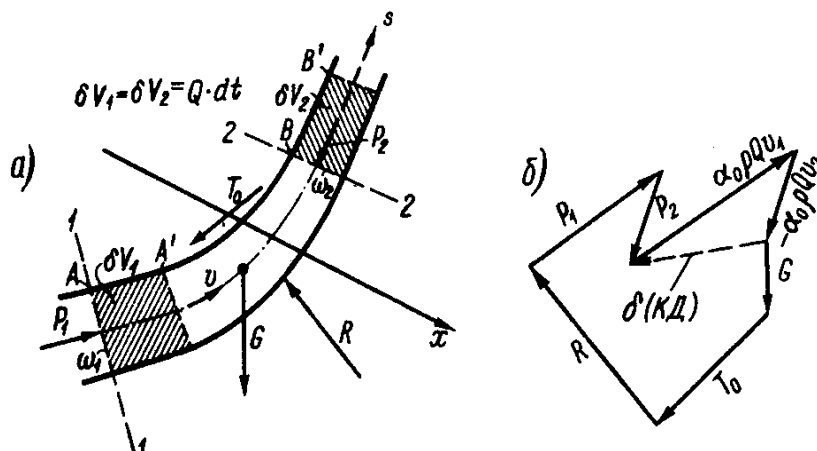
Ixtiyoriy ko‘rinishdagi oqimni tanlab olib, unda x o‘qini o‘tkazamiz va 1-1 va 2-2 harakatdagi kesimlarni belgilaymiz (3.34, a-rasm).

1-1 va 2-2 kesimlar uchun oqim harakatini tekis barqaror deb olib, nazariy mexanika kursidagi moddiy nuqtalarning harakatlar miqdori haqidagi teoremani qo‘llaymiz. Bunda kesimlardagi tezliklar u taqsimlanishini bir xil deb hisoblaymiz, ya’ni

$$\alpha_{01} = \alpha_{02} = \alpha_0 \quad (3.108)$$

Teoremani esga olamiz. Harakatlanayotgan jism $\delta(XM)$ harakatlar miqdorining ixtiyoriy x o‘qqa proektsiyasi shu vaqt oralig‘ida jismga ta’sir etayotgan tashqi kuchlarini shu o‘qqa proektsiyalari yig‘indisiga teng.

$$\delta(XM)_x = \sum (TK)_x \quad (3.109)$$



3.34-rasm. Harakatlar miqdorining gidravlik tenglamasiga doir

Bu teoremani dt vaqt oralig'ida 1-1 va 2-2 kesimlar orlig'ida AV vaziyatdan A'B'vaziyatga o'tgan suyuqlik hajmi uchun qo'llaymiz.

1^o. AV hajmning $[\delta(XM)]$ harakatlar miqdori o'zgarishi.

Rasmdagi chiziqchalar bilan belgilangan elementar hajmlarini δV_1 va δV_2 deb belgilaymiz.

$$\begin{aligned}\delta(XM) &= XM(A'B') - XM(AB) = \\ &XM(A'B + BB') - XM(AA' + A'B) = XM(\delta V_2) - XM(\delta V_1)\end{aligned}\quad (3.110)$$

Ma'lumki, jismning harakatlar miqdori quyidagiga teng.

$$XM = \text{jism massasi} \times \text{jism tezligi}$$

Shuni e'tiborga olib, δV_1 va δV_2 elementar hajmlarning harakatlar miqdorini aniqlaymiz. dt vaqt oralig'ida 1-1 kesim orqali o'tgan suyuqlik hajmi δV_1 ga teng.

$$\text{massa}(\delta V_1) = \rho Q dt \quad (3.111)$$

Agar bu kesimdagi o'rtacha tezlikni v_1 deb qabul qilsak:

$$[XM(\delta V_1)]_{yp} = (\rho Q dt) v_1 \quad (3.112)$$

Lekin, 1-1 kesimning har xil nuqtasida tezlik har xil bo'lganligi sababli,

$$XM(\delta V_1) = \alpha_0 [XM(\delta V_1)]_{yp} = \alpha_0 \rho Q v_1 dt \quad (3.113)$$

bunda, v_1 – 1-1 kesimdagi o'rtacha tezlik.

Analog ko'rinishda (3.113) ifodani $XM(\delta V_2)$ uchun quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$XM(\delta V_2) = \alpha_0 \rho Q v_2 dt \quad (3.114)$$

bunda, v_2 – 2-2 kesimdagi o'rtacha tezlik.

(3.110) ifodaga (3.113) va (3.114) ifodalarni qo'ysak:

$$\delta(XM)_x = \alpha_0 \rho Q (v_{2x} - v_{1x}) dt \quad (3.115)$$

2^o. AV hajmdagi suyuq jismga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar impulsi (TKI) .

$$TKI = \text{kuchlar} \times \text{vaqt}$$

AV jismga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar bilan tanishamiz. AV jismning og'irlik kuchi G_x uning x o'qqa proektsiyasi va kuch impulsining proektsiyasi quyidagiga teng:

$$G_x dt \quad (3.116)$$

Suyuq AV jismni chegaralab turuvchi yon devorlar tomonida ta'sir etuvchi tashqi ishqalanish kuchining x o'qqa proektsiyasi impulsi

$$(T_0)_x dt \quad (3.117)$$

Yon devorlar reaksiya kuchi (ishqalanishni hisobga olmasdan) R_x kuch impulsi proektsiyasi

$$R_x dt \quad (3.118)$$

Kesimlarning tashqi tomonida ta'sir etuvchi gidrodinamik kuchlar – R_1 va R_2 . Ularning x o'qqa proektsiyalarining impulsi

$$(P_{1x} + P_{2x}) dt = P_x dt \quad (3.119)$$

3^o. Harakatlar miqdorining gidravlik tenglamasi. (3.109) ifodaga (3.115) va (3.119) ifodalarni qo'ysak,

$$\boxed{\alpha_0 \rho Q (v_{2x} - v_{1x}) = G_x + (T_0)_x + R_x + P_x} \quad (3.120)$$

bunda, ρQ – birlik vaqt oralig'ida harakatdagi kesimdan o'tgan suyuqlik massasi bo'lib, $\rho Q = \text{const}$ (oqim bo'ylab) ; $\alpha_0 \rho Q v$ – oqimningsekunddagi harakatlar miqdori deb ataladi.

Tenglamani quyidagicha ifodalash mumkin. 1-1 tekis kesimdan 2-2 kesimga oqim o'tishida biror o'qqa nisbatan sekunddagi harakatlar miqdori o'zgarishi shu o'qqa nisbatan tashqi ta'sir etuvchi to'rtta kuchning (G, T_0, R, R) shu qismga ta'sir etuvchi miqdorlari proektsiyalarining yig'indisiga teng (3.34, b-rasm) .

3.26. SUYUQLIKNING IKKI XIL TARTIBDAGI HARAKATI

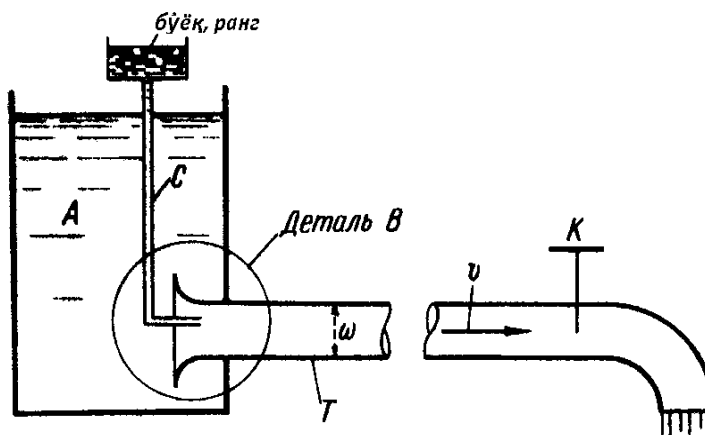
Yuqoridagi §3.24-mavzudagi barqaror harakatlanayotgan real suyuqlik oqimi kinetik energiyasining gidravlik tenglamasi – Bernulli tenglamasiga kiruvchi napor yo'qolishini ko'rsatuvchi parametrlarni aniqlash muhim amaliy ahamiyatga ega bo'lgan masala hisoblanadi. Bu parametrlarni aniqlashda *gidravlik qarshiliklar qonuniyati*¹ bilan tanishishimizga to'g'ri keladi. Buning uchun o'z navbatida suyuqlikning harakat tartibi haqida malum tasavvurga ega bo'lishimiz kerak. Shu sababli, bu masala bilan batafsil tanishamiz.

1839 va 1854 yillarda nemis injener gidrotexniki G.Xagen va 1880 yilda rus olimi D.I.Mendelevlar suyuqlikning harakatida g'alati bir holatni kuzatishgan. D.I.Mendelev o'zining “Havo harakatiga suyuqlikning qarshiligi” ilmiy asarida ishqalanish kuchlari suyuqlik harakati tezligiga turli munosabatda bog'langanligi bilan xarakterlanuvchi suyuqlikning harakat tartiblari mavjudligini ta'kidlagan. Suyuqlikning bu harakat tartiblarini fizik mohiyati 1883 yilda ingliz fizigi Osborn Reynolds tomonidan kuzatib o'rganilgan va nazariy jihatdan asoslangan. Bu hodisani kuzatish uchun 3.35-rasmda ifodalangan bir xil rangdagi suyuqlik bilan to'ldirilgan A idishga shisha quvur ulangan. Quvurga Kr_1 kran o'rnatilgan bo'lib, A idish yuqorisiga ikkinchi B idish o'rnatilgan. Unga ham kichik naycha ulangan bo'lib, quvurga naychaning chiqish qismi tushirilgan. Naychaning ichida harakatlanayotgan suyuqlikni boshqarish uchun Kr_2 kran o'rnatilgan va B idishga solishtirma og'irligi birinchi suyuqlikniqiga teng, lekin rangi boshqa suyuqlik solingan. Kr_1 va Kr_2 yordamida suyuqliklar ma'lum bir tezlik yordamida harakatga keltirilgan.

$$v = \frac{Q}{\omega} \quad (3.121)$$

Tajriba natijasida quyidagilar aniqlangan:

1. Quvurdagi harakatlanayotgan suyuqlik oqimining ma'lum bir chegaraviy qiymati v_k dan kichik tezlikda, naychadan tushayotgan suyuqlik ma'lum bir oqimcha shaklida katta



3.35-rasm. Reynolds qurilmasi sxemasi

¹Bu tushuncha bilan keyingi mavzularda batafsil tanishamiz.

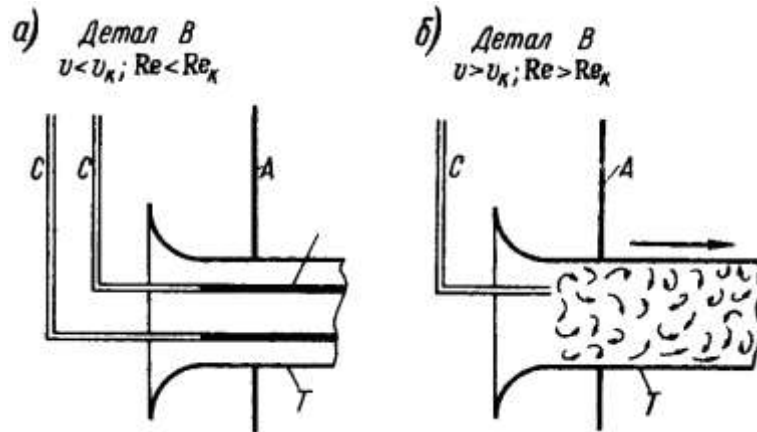
idishdagi suyuqlik bilan aralashmasdan harakatlana boshlagan.

$$v < v_k \quad (3.122')$$

2. Shu chegaraviy qiymatdan yuqori bo'lgan tezlikda esa ular aralash holatda harakatlana boshlagan. Chunki, qaralayotgan suyuqlik oqimi harakatlanayotgan muhit nuqtasidagi tezlikning vaqt davomida uzluksiz o'zgarishi, yani tebranishi (pulsatsiyasi) natijasida naychadan chiqayotgan oqimcha tebrana boshlaydi. Bu jarayon kuchayib, aylanma harakatga aylanadi va oqimcha ikkinchi suyuqlik bilan aralashib ketadi. Tebranma (pulsatsion) tezlik tushunchasining fizik mohiyati bilan keyingi bobdagi mavzularda batafsil tanishamiz.

$$v > v_k \quad (3.122'')$$

Birinchi holatdagi harakat oqimning laminar (tartibli) (3.36, a-rasm), ikkinchi holatdagi harakat turbo'lent (tartib-siz) harakat (3.36, b-rasm) deb atalgan. Oqimning chegaraviy tezligini esa



3.36-rasm. Harakat rejimlari:

a) laminar; b) turbo'lent

v_k kritik tezlik deb belgilangan. O. Reynolds nazariy muloxazalari va tajribalari asosida kritik tezlikni aniqlash ifodasini taklif qilgan:

$$v_k = \frac{\nu Re_k}{R} \quad (3.123)$$

bunda, R – gidravlik radius; ν – suyuqlikning kinematik yopishqoqlik koeffitsienti.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.124)$$

bunda, η – suyuqlikning dinamik yopishqoqlik koeffitsienti.

Re_k – o'lchamsiz empirik koeffitsient bo'lib, Reynolds sonining kritik qiymatideyiladi.

O.Reynolds 3.123-ifodaning o'lchov birliklar usuliga asoslangan holda taqriban keltirib chiqargan. $v_k = f(\rho, \eta, D)$ deb qabul qilib, quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$v_k = a \rho^x \eta^y D^z \quad (I)$$

bunda, a – o'lchov birliksiz noma'lum doimiy koeffitsient; x, y, z – darajaning noma'lum ko'rsatkichlari.

Bu ifodaga kiruvchi kattaliklar o'lchov birliklarini yozamiz:

$$[v_k] = \frac{L}{t}; [\eta] = \frac{M}{Lt}; [\rho] = \frac{M}{L^3}; [D] = L. \quad (II)$$

bunda L, t, M – mos ravishda uzunlik, vaqt, massa belgilari.

(II) ifodani inobatga olib, (I) ifodani yozamiz:

$$\frac{L}{t} = \left[\frac{M}{Lt} \right]^x = \left[\frac{M}{L^3} \right]^y = [L.]^z \quad (\text{III})$$

Buni quyidagicha yozish mumkin:

$$Lt^{-1} = M^{x+y} L^{-3x-y+z} t^{-y} \quad (\text{IV})$$

Bundan, bu ifoda ma'noga ega bo'lishligi uchun tenglamaning chap va o'ng tomonlari ko'rsatkichlari bir-biriga teng bo'lishi kerak, ya'ni

$$x + y = 0; -3x - y + z = 1; -y = -1; \quad (\text{V})$$

bundan,

$$x = -1; y = +1; z = -1.$$

Bu natijalarni (I) quyib, $a = \text{Re}_\kappa$, $R = 4D$ ekanligini e'tirof etgan holda,

$$\nu_\kappa = 4 \text{Re}_\kappa \frac{1}{\rho} \eta \frac{1}{4R} = \text{Re}_\kappa \frac{\eta}{R} \quad (\text{VI})$$

ifodaga ega bo'lamiz.

Tajribalar asosida bu sonning kritik qiymati quyidagicha aniqlangan:

a) aylana tsilindrik shakldagi quvurlarda napor ostida harakatlanayotgan suyuqlik oqimi uchun

$$\text{Re}_\kappa \approx 500 \quad (3.125)$$

Boshqa ayrim mualliflar ma'lumotlariga qaraganda, bu qiymat ancha kichik bo'lishi mumkin.

b) to'g'ri burchakli ochiq kanallarda harakatlanayotgan suyuqliklar uchun Xopf tajribasiga asosan, bu kattalik

$$\text{Re}_\kappa \approx 300 \quad (3.126)$$

(3.123) ifodani quyidagicha yozish mumkin.

$$\text{Re}_\kappa = \frac{\nu_\kappa R}{\nu} \quad (3.127)$$

yoki

$$\text{Re} = \frac{\nu R}{\nu} \quad (3.128)$$

bunda, ν – haqiqiy (lekin kritik emas) o'rtacha tezlik.

Bu harakatlarning mavjudlik shartlarini quyidagicha ifodalash mumkin:

- 1) agar $\text{Re} < \text{Re}_\kappa$ bo'lsa, oqimning laminar harakati;
- 2) agar $\text{Re} > \text{Re}_\kappa$ bo'lsa, oqimning turbo 'lent harakati kuzatiladi.

Xulosada quyidagilarni ta'kidlash lozim:

1. Suyuqlik oqimining aylana quvurlarda napor ostidagi harakatini o'rganishda gidravlik radius o'rniga quvur diametri yordamida Reynolds sonini aniqlash mumkin.

$$\boxed{\text{Re}_D = \frac{\nu D}{\nu} = \frac{\nu(4R)}{\nu} = 4 \text{Re}} \quad (3.129)$$

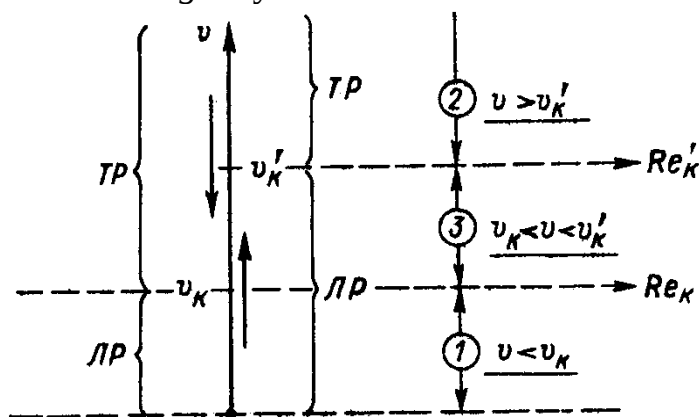
2. Gidrotexnika amaliyotida, asosan, oqimning turbo 'lent harakati kuzatiladi. Faqat grunt suvlari harakati bundan mustasno. Yopishqoq suyuqliklar harakati esa, asosan laminar tartibda kuzatiladi.
3. Shuni ta'kidlash joizki, yuqorida keltirilgan gidrodinamikaning asosiy tenglamalari (uzluksizlik, Bernulli, harakatlar miqdori tenglamalari) har ikkala

harakatlar uchun o‘rinlidir. Faqat Bernulli tenglamasidagi energiya (napor) yo‘qolishi har xil ifodalar yordamida aniqlanadi.

4. 3.35-rasmdagi qurilma yordamida tajriba o‘tkazish davomida tashqi har qanday ta’sirdan qurilmani chegaralab, tezlikning bir qancha yuqoriroq qiymatlarida laminar harakatni saqlab qolish mumkin. Lekin nihoyatda kichik ta’sir natijasida bu holat buzilishi mumkin va turbo‘lent harakatga o‘tishi mumkin. Bu tezlik qiymati tezlikning *yuqori kritik kattaligi* deyiladi.

Bu holatni 3.37-rasm yordamida ifodalash mumkin.

Turbo‘lent holatda harakatlanayotgan oqim tezligini bosqichma-bosqich pasaytirib, ma’lum kichik qiymatda turbo‘lent harakatni saqlab qolish mumkin. Lekin kichik tashqi ta’sir bu harakatni laminar



3.37-rasm. Suyuqlikning laminar holatdan turbo‘lent holatdagi harakatga va aksincha turbo‘lent holatdan laminar holatdagi harakatga o‘tishi

harakatga aylantirishi mumkin. Bu holatdagi tezlikni kritik tezlikning *pastki chegaraviy qiymati* deyiladi.

Shuni ta’kidlash kerakki, suyuqlikning harakat tartibi gidravlik qarshiliklar qonuniyatiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta’sir ko‘rsatadi. Turli tatqiqotchilar tomonidan o‘tkazilgan tajribalar har xil tartibdagi harakatda u tezlik napor yo‘qolishiga turlicha ta’sir ko‘rsatishini tasdiqlagan.

Agar bu tajribalar natijasini bir grafikka jamlasak, $\lg h_f$ va $\lg u$ parametrlar o‘rtasidagi bog‘liqlik to‘g‘ri chiziqlar kesmalari ko‘rinishidagi grafik paydo bo‘ladi..

Bu grafik tenglamasini quyidagi ko‘rinishda yozishimiz mumkin.

$$\lg h_f = \lg b + m \lg u$$

Formulada $m = \tan \theta$, bunda, θ – mos kesimning abtsissa o‘qiga nisbatan tashkil etgan burchagi.

Bundan,

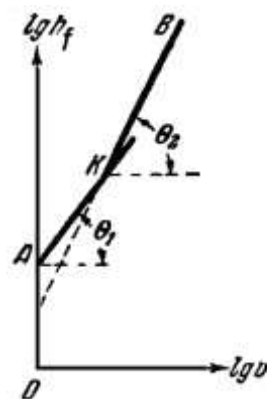
$$h_f = b u^m$$

bunda, b – kattalik quvur o‘lchamlariga, devor materialiga, suyuqlik turiga va m – kattalik oqimning kinetik energiyasi o‘zgarishi tezlikning ta’siri darajasiga bog‘liqligini ko‘rsatuvchi kattalikdir.

To‘g‘ri quvurlarda gidravlik qarshiliklarni aniqlashga doir tajribalar natijalariga asosan ta’kidlash mumkinki:

a) suyuqlikning laminar tartibli harakatiga grafikdagi AK soha mos kelib (3.38-rasm) , A formulada $\theta_1 = 45^\circ$; $m = \operatorname{tg} 45^\circ = 1$ munosabatlar o‘rinli, demak, laminar harakatda suyuqlik solishtirma energiyasining uzunlik bo‘yicha o‘zgarishi tezlikning birinchi darajasiga to‘g‘ri proporsional;

b) suyuqlikning turbo‘lent tartibdagi harakatiga KB soha mos kelib, bunda $\theta_2 > 45^\circ$ va $m > 1$ munosabat o‘rinliliigi aniqlangan,



3.38-rasm

turbo‘lent harakatda suyuqlik solishtirma energiyasining uzunlik bo‘yicha o‘zgarishi tezlikning m darajasiga to‘g‘ri proporsional; $m = 1,75 \div 2,0$.

Shu o‘rinda ta’kidlash lozimki, texnik gidrodinamika asosiy tushunchalari bilan tanishayotganimizda, barqaror harkat mavjud bo‘lishi kam uchraydigan holatdir. Keyinchalik suyuqlikning turbo‘lentlik darajasi yuqori bo‘lgan suyuqlikning ochiq o‘zanlaridagi harakati bilan tanishamiz. Tabiatda, ayniqsa gidrotexnika amaliyotida suyuqlik ochiq o‘zarlarda harakatlanganda turbo‘lentlik ancha yuqori bo‘lib, u sarfni o‘zgaruvchanligini izohlaydi. Shu sababli, barqaror harakat ma’lum bir cheklanishda mavjud bo‘ladi deb qabul qilinadi.

III BOBGA DOIR TEST-NAZORAT SAVOLLARI

1. Gidrodinamik bosim nima va u qanday birliklarda o‘lchanadi?

- Suyuqlik o‘z harakati davomida gidrostatik bosimdan tashqari qo‘shimcha bosimga ega bo‘ladi, shu sababli gidrodinamik bosim tushunchasi kiritiladi. U bosim o‘lchov birliklarida o‘lchanadi;
- Nisbiy tinch holatdagi suyuqlikning birlik yuzasiga ta’sir etayotgan kuchni xarakterlovchi kattalik, H/m^2 ; kgk/m^2 ;
- Gidrodinamik bosim bu napor, uzunlik o‘lchov birliklarida o‘lchanadi;
- Gidrodinamik bosim miqdor jihatdan gidrostatik bosimga teng kattalikdir, bosim o‘lchov birliklarida o‘lchanadi..

2. Gidrodinamik va gidrostatik bosim o‘rtasida qanday farq bor?

- Suyuqlik o‘z harakati davomida gidrostatik bosimdan tashqari qo‘shimcha bosimga ega bo‘ladi, shu sababli gidrodinamik bosim tushunchasi kiritiladi;
- Hech qanday farq yo‘q;
- Gidrodinamik bosim bu napor, gidrostatik bosim esa birlik kuch miqdoridir;
- Gidrodinamik bosim miqdor jihatdan gidrostatik bosimga teng kattalikdir.

3. Barqaror harakat nima?

- Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o‘zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
- Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o‘zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
- Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o‘zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi

- d) Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o'zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi.

4. Beqaror harakat nima?

- a) Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o'zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
 b) Suyuqlik harakatida vaqt davomida miqdori o'zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi;
 c) Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o'zgarib harakatlanishi barqaror harakat deyiladi
 d) Suyuqlik harakatida vaqt davomida tezlik o'zgarmasdan harakatlanishi barqaror harakat deyiladi.

5. Gidrodinamika bo'limi nimani o'rgatadi?

- a) Suyuklik harakat qonunlarini o'rganib, texnikaga tadbiq etish uchun uslubiyatlar yaratadi;
 b) Suyuklikning muvozanat qonunlarini o'rganib, texnikaga tatbik etishini o'rgatadi;
 c) Suyukliklarni xossalarini o'rganib, texnikaga tatbik etishni o'rgatadi;
 d) Muvozanatdagi suyuklikka tasir etuvchi kuchlarni o'rgatadi.

6. Oqimning barqaror tekis va notekis harakatlar o'rtasidagi tafovutni ko'rsating.

- a) Hech qanaqa tafovut yo'q;
 b) Oqimning barqaror tekis harakatida oqim bo'ylab tezlik va sarf o'zgarsa, notekis harakatda bu kattaliklar o'zgarmaydi;
 c) Oqimning barqaror tekis harakatida oqim bo'ylab tezlik o'zgarsa, notekis harakatda bu kattalik o'zgarmaydi;
 d) Oqimning barqaror tekis harakatida oqim bo'ylab tezlik o'zgarmaydi, notekis harakatda bu kattalik o'zgarib turadi.

7. Naporsiz va naporli harakatlar o'rtasidagi tafovutni izohlang.

- a) Suyuqlik oqimi harakati davomida harakatdagi kesimining bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashmagan bo'lsa bunday harakat naporli bo'lib, harakatdagi kesimning bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashgan bo'lsa, ya'ni oqim erkin sirtga ega bo'lsa, harakat naporsiz bo'ladi;
 b) Harakatdagi kesim bo'ylab bosim taqsimlanishi gidrostatik qonuniyatga bo'ysunsa, harakat naporli, aks holda naporsiz bo'ladi;
 c) Quvurlardagi suyuqlik harakati naporli bo'lib, o'zanlarda oqim naporsiz harakatlanadi;
 d) Suyuqlik oqimi harakati davomida harakatdagi kesimining bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashgan bo'lsa, bunday harakat naporli bo'lib, harakatdagi kesimning bir qismi atmosfera bosimi bilan tutashmagan bo'lsa, harakat naporsiz bo'ladi;

8. Bu formula nimani ifodalaydi? $Q = \int_{\omega} u d\omega$

- a) Uzluksizlik tenglamasi;
 b) Real suyuklik uchun Bernulli tenglamasi;
 c) Laplas tenglamasi;
 d) Carfni aniklash formulasi.

9. Harakatdagi suyuqlik uchun Eyler tenglamasi qanday ko‘rinishga ega?

$$a) \left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} \end{aligned} \right\};$$

$$b) \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0;$$

$$c) \left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_x}{\partial t} \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_y}{\partial t} \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial t} \end{aligned} \right\};$$

d) a va b javoblari to‘g‘ri

10. Bu formula nimani ifodalaydi? $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$

- a) Ideal suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasini;
- b) Real suyuqlik uchun Bernulli tenglamasini;
- c) Eyler tenglamasini (harakatdagi suyuqlik uchun);
- d) Arximed formulasini.

11. Pezometr va Pito naychasining farqi nimalardan iborat?

- a) $\frac{v^2}{2g}$;
- b) $\frac{p}{\gamma}$;
- c) $\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$;
- d) $z + \frac{p}{\gamma}$.

12. Qachon nuqtadagi tezlik taqsimoti o‘zgarmas bo‘ladi?

- a) Suyuklikni real deb qarasak;
- b) Suyuklikni ideal deb qarasak;
- c) Suyuklik to‘g‘ri to‘rtburchakli novlarda harakatlanganda;
- d) Suyuqlik tsilindrik quvurlarda harakatlanganda.

13. Suyuklik harakatining uzluksizlik tenglamasini ko‘rsating?

- a) $v_2 \omega_1 = v_2 \omega_2$
- b) $v_2 \omega_1 = v_2 \omega_2 = v_3 \omega_3 = K = v_n \omega_n = const$
- c) $Q_1 = Q_2 = Q_3 = K = Q_n = const$
- d) Hammasi to‘g‘ri

14. Real suyuqlik harakati davomida napor chizig‘i:

- a) oqimbo‘ylab ko‘tarilib boradi;
- b) gorizontal bo‘ladi;
- c) vertikal bo‘ladi;
- d) oqim bo‘ylab pasayib boradi

15. Bu formula nimani ifodalaydi? $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f$

- a) Ideal suyuqlik uchun Bernulli tenglamasini;
- b) Real suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasini;
- c) Eyler tenglamasini (harakatdagi suyuqlik uchun) ;
- d) Arximed formulasini.

16. Gidravlik nishablik qachon nolga teng bo'ladi?

- a) Suyuklikni real deb qaralganda;
- b) Suyuklikni ideal deb qaralganda;
- c) Suyuklik to'g'ri turtburchakli novlarda harakatlanganda;
- d) Suyuklik trapetsiadal novlarda harakatlanganda

17. Oqim sarfi, suyuqlik tezligi, o'rtacha tezlik, gidravlik radius va ho'llangan perimetrlarning belgilanishlarini ko'rsating.

- a) Q, u, v, R, χ ;
- b) Q, u, v, C, χ ;
- c) Q, v, v, R, χ ;
- d) Q, u, v, R, χ .

18. Oqim sarfi, suyuqlik tezligi, o'rtacha tezlik, gidravlik radius va ho'llangan perimetrlarning o'lchov birliklarini ko'rsating.

- a) $Q - \frac{m^3}{s}; u - \frac{m}{s}, v - \frac{m}{s}, R - m, \chi - m$;
- b) $Q - \frac{l}{s}; u - \frac{m^2}{s}, v - \frac{m^2}{s}, R - m, \chi - m$;
- c) $Q - \frac{m^3}{s}; u - \frac{m}{s}, v - \frac{m}{s}, R - \frac{m}{s}, \chi - m^2$;
- d) $Q - \frac{m^3}{s}; u - m, v - \frac{m}{s}, R - m, \chi - m$.

19. Oqim harakatdagi kesimi yuzasi belgisini va uning o'lchov birligini ko'rsating.

- a) $\omega - m^2$;
- b) $\chi - m^2$;
- c) $\omega - m$;
- d) $v - m^2$.

20. Laminar tartibdagi harakatda quvurlar uchun

- a) $Re > 2320$;
- b) $Re < 2320$;
- c) $Re = 2320$;
- d) $Re = 0$.

21. Turbo'lent tartibdagi harakatda quvurlar uchun

- a) $Re > 2320$;
- b) $Re < 2320$;
- c) $Re = 2320$;
- d) $Re = 0$.

22. Real suyuqliklar harakati tenglamasini izohlang.

- a) $v_2 \omega_1 = v_2 \omega_2 = v_3 \omega_3 = K = v_n \omega_n = const$

$$\left. \begin{aligned} \phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{du_x}{dt} - F_x &= 0; \\ \phi_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{du_y}{dt} - F_y &= 0; \\ \phi_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{du_z}{dt} - F_z &= 0 \end{aligned} \right\}$$

- c) $Q_1 = Q_2 = Q_3 = K = Q_n = const$;

$$d) z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_f$$

IV BOB. OQIMNING BARQAROR HARAKATIDA NAPOR YO‘QOLISHI. OQIMNING TURBO‘LENT HARAKATINI HISOBLASH SXEMASI

4.1. NAPOR YO‘QOLISHI HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

Bizga ma’lumki, suyuqlik oqimiga, uning harakati davomida har xil tashqi kuchlar ta’sir qiladi. Bu kuchlar bajargan ishlar hisobiga suyuqlikning mexanik energiyasi o’zgarishi mumkin. Masalan, suv oqimi gidravlik turbinaning parraklarini harakatga keltirib, shuning hisobiga suvning mexanik energiyasi kamayadi yoki bosim ostidagi quvur devorlarida ham vibratsiyaning paydo bo’lishi, suvning mexanik energiyasining kamayishiga olib keladi.

Biz energiyaning o’z ko’rinishini o’zgartirishi yoki naporning bunday yo’qolishlariga e’tibor bermasdan, balki oqimning o’z harakati davomida ishqalanish kuchlarini yengib o’tish uchun sarflagan energiyasini (yoki yo’qolgan naporini) o’rganish bilan shug’ullanamiz. Umuman, bizga ma’lumki, energiya yo’qolmaydi, balki bir turdan ikkinchi turga aylanishi mumkin. Yuqoridagi mavzularda Bernulli tenglamasini o’rganish jarayonida biz napor yo’qolishining mana shu shaklini nazarda tutganmiz. Napor yo’qolishi ikki xil bo’lishi mumkin:

- 1) *Uzunlik bo’yicha napor yo’qolishi.* Bu yo’qolish – oqimning tekis harakatida uzunlik bo’ylab bir xil taqsimlansa, uning notekis harakatida uzunlik bo’ylab har xil miqdorda taqsimlanishi mumkin. Oqimning l uzunligidagi napor yo’qolishini h_l harfi bilan belgilaymiz.
- 2) *Mahalliy napor yo’qolishlari.* Bunday ko’rinishdagi yo’qolishlar – suyuqlik harakatlanayotgan o’zanning ayrim qismlarida oqimning keskin turli xildagi deformatsiyaga uchrashi natijasida ro’y beradi. Masalan, burilish, kengayish, turli boshqaruv qurilmalari (kran, klapan, zadvijka va x.k.) o’rnatilgan joylarda oqimning shu to’siqlarni yengish uchun sarflagan naporlari. Mahalliy yo’qolishlar h_m harfi bilan belgilanadi.

4.1-rasmda keltirilgan quvurda xususiy bo’g’inlar mavjud. *I*-burilish, *II*-qisman ochiq zadvijka (surilgich) .

1-1 va *2-2* kesimlar orasida uzunlik bo’yicha yo’qolishdan tashqari, mahalliy yo’qolishlar ham mavjuddir. G va D sohalarda oqim mahalliy deformatsiyasi yuz berib, unda suyuqlikning tez o’zgaruvchan beqaror harakati amalga oshadi.

Shuni ta’kidlash kerakki, oqimning uzunlik bo’ylab napor yo’qolishi mavjud bo’lgan sohalarda τ kuchlanish oqim bo’ylab tekis taqsimlansa, mahalliy napor yo’qolishlari mavjud bo’lgan sohalarda bu taqsimlanish notekis bo’ladi.

Ko’pgina hollarda G va D sohalardagi yo’qolayotgan mahalliy naporlar mikdori umumiy uzunlik bo’yicha napor yo’qolishidan ancha kichik bo’lganligi sababli, amaliy hisoblarda mahalliy napor yo’qolishini hisobga olmasdan, uzunlik bo’yicha napor yo’qolishini oqimning butun qaralayotgan soha uzunligidagi umumiy napor yo’qolishi sifatida qabul qilinadi.

Umumiy holda, ikki qaralayotgan kesim oralig'idagi oqim naporining yo'qolishi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$h_f = h_l + \sum h_m \quad (4.1)$$

Mexanik energiya o'zgarishini quyidagicha tushuntirish mumkin:

ishqalanish kuchlari bajargan ish hisobiga mexanik energiya issiqlikka aylanadi va suyuqlik isiydi. Issiqlik vaqt o'tishi bilan tarqalib ketadi.

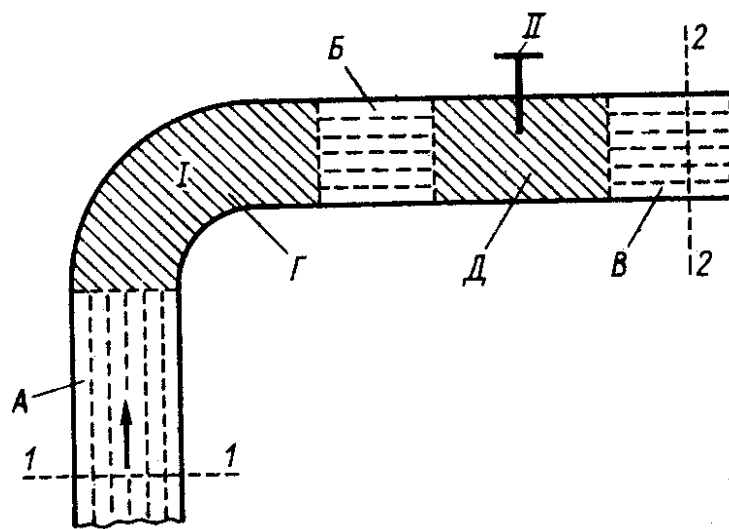
Yuqoridagi mulohazaga asoslanib, aytish

mumkinki, suyuqlik harakatida ishqalanish kuchlari bajargan ish hisobiga va alohida bo'g'inlardan mahalliy ishqalanish kuchlari bajargan ish hisobiga issiqlikka aylanib, keyin yo'qolib ketgan miqdor *napor yo'qolishi* h_f dir.

Gidravlika kursini o'rganish jarayonida ko'pincha «gidravlik qarshilik» atamasiga duch kelamiz. Bunda real holatdagi suyuqliklarning harakatida paydo bo'ladigan ishqalanish kuchlarini tushunish o'rinlidir. Ideal suyuqliklarda ishqalanish kuchlarini nolga teng deb qabul qilganligimiz sababli, gidravlik qarshiliklar mavjud emas deb qaraladi.

Real suyuqliklarda ishqalanish qancha yuqori bo'lsa, qarshilik shuncha ko'p bo'ladi. Bu ikki tushuncha orasida o'zaro bog'liqlik mavjuddir. Bu o'zaro bog'liqlik oqimning tekis barqaror harakati (mahalliy napor yo'qolishlari bo'lmaganda) mavjud bo'lganda *suyuqlikoqimining tekis barqaror harakatining asosiy tenglamasi* deyiladi. Oqimda bu kuchlanish taqsimlanishini, utezlikni bilsak, ishqalanish kuchi bajargan ishni va bundan napor yo'qolishini aniqlash mumkin. Lekin, bu masala ancha murakkab muammo. Bu muammoni hal qilish bilankeyingi mavzularda shug'ullanamiz. Bunda dastlab, suyuqlik harakatining eng oddiy holati – tekis barqaror harakat bilan tanishamiz. Bu harakatdagi ishqalanish kuchlari va napor yo'qolishi orasidagi bog'liqlikni ifodalovchi tenglamadan foydalanamiz. Bu tenglama asosida, Nyutonning ichki ishqalanish kuchi haqidagi qonuniyatidan foydalanib, oqim harakatida yo'qolgan napor va tezligi orasidagi bog'liqlikni ko'rsatuvchi ifodani topamiz. Bu masala laminar holatda harakatdagi suyuqliklar uchun ancha oson hal qilinsa, turbo'lent holatda harakatlanayotgan suyuqlik oqimlari uchun uni aniqlashda ayrim eksperimental koeffitsientlardan foydalanishga to'g'ri keladi.

Oqimning beqaror harakatida napor yo'qolishini aniqlash ancha muammo bo'lib, u juda murakkab masaladir. Shu sababli, ko'pgina hollarda tekis barqaror



4.1-rasm. Ishqalanish kuchlanishi τ taqsimlangan sohalar:

- a) A, B, V – tekis taqsimlanish bo'lib, bu sohalarida oqim harakatida naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi mavjud;
- b) notekis taqsimlanish. G va D sohalarida oqim naporining notekis yo'qolishi mavjud

harakatlar uchun napor yo'qolishi aniqlanib, unga ayrim tuzatmalar kiritish usulidan foydalaniladi.

4.2. «TO'G'RI O'ZANLAR» UCHUN TEKIS BARQAROR HARAKATLANAYOTGAN OQIMNING ASOSIY TENGLAMASI. ICHKI ISHQALANISH KUCHLARI BAJARGAN ISH. GIDRAVLIK ISHQALANISH KOEFFITSIENTI YOKI DARSI KOEFFITSIENTI

O'zan devorlariga ta'sir etayotgan uzunlik bo'yicha urinma kuchlanishini τ_0 deb belgilab olamiz. Shu urinma kuchlanish qiymati uzunligi va ho'llangan perimetri bo'yicha o'zgaras bo'lsa ($\tau_0 \approx \text{const}$), bunday o'zanlar «to'g'ri o'zanlar» deyiladi. Bunday o'zanlarga tsilindrik yoki prizmatik shakldagi o'zanlar misol bo'lishi mumkin.

Endi, o'z oldimizga suyuqlikning ishqalanish kuchi ta'siri bilan uzunlik bo'yicha napor yo'qolishining bog'liqligini o'rganish masalasini topish deb qo'yamiz. Silindrik shakldagi quvurda bosim ostida harakatlanayotgan suyuqlik oqimidan l uzunlikdagi 1-1 va 2-2 kesimlar bilan chegaralangan sohani ajratib olamiz (4.2-rasm). s o'qni quvurda harakatlanayotgan suyuqlik oqimi bo'ylab harakatlantiramiz. Suyuqlikning tekis harakatida l uzunlikdagi suyuqlik oqimining RR – pezometrik chizig'i qiya chiziq bo'lib, uning pasayishi h_l – napor yo'qolishini ko'rsatadi. Ko'rilayotgan sohaga ta'sir etayotgan tashqi kuchlar bilan tanishib chiqamiz. Shundan so'ng, oqimning barqaror tekis harakatlanayotganligini hisobga olib, bu kuchlarni s o'qqa proektsiyalari yig'indisini nolga tenglab, izlayotgan tenglamani olamiz.

Ko'rilayotgan sohaga ta'sir etayotgan kuchlar:

1. Bu hajmdagi suyuqlikning og'irlik kuchi:

$$G = \omega \gamma \quad (4.2)$$

bunda, ω – harakatdagi kesim yuzasi kattaligi.

so'qqa bu kuch proektsiyasini yozamiz:

$$G_s = \omega \gamma \sin \beta \quad (4.3)$$

bunda, β – quvur o'qining gorizontga nisbatan qiyaligi.

Rasmdan ko'rinib turibdiki,

$$l \sin \beta = z_1 - z_2 \quad (4.4)$$

shu sababli,

$$G_s = \gamma \omega (z_1 - z_2) \quad (4.5)$$

2. Ajratilgan suyuqlikka yon tomondagi suyuqlik kuchlari tomonidan bo'layotgan ta'sir:

$$P_1 = p_1 \omega; \quad P_2 = p_2 \omega, \quad (4.6)$$

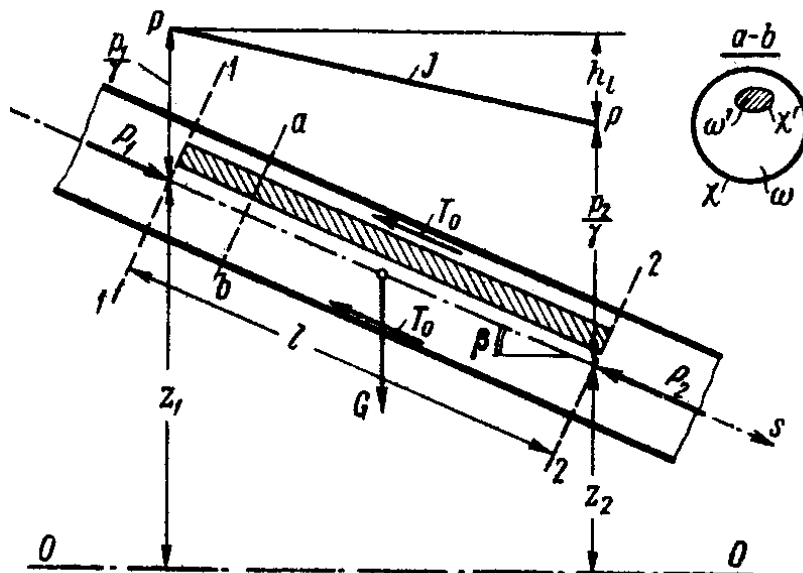
bunda, p_1 va p_2 – 1-1 va 2-2 kesimlarning og'irlik markazlariga ta'sir etuvchi gidrodinamik bosim. Bu bosim kuchlari s o'qqa o'zgarishsiz proektsiyalanadi.

3. Normal bosimlarning s o'qqa proektsiyasi nolga teng deb qabul qilinadi.

4. Devorlarga ishqalanish kuchi T_0 ham o'zgarishsiz proektsiyalanadi. Bundan tashqari, ichki ishqalanish kuchlari (T) ham mavjud.

Agar 4.3-rasmda ifodalanganidek, oqim ichida ikkita a va b oqimchalarni olsak, ularda, agar, $u_a \neq u_b$ tezliklar mavjudligini hisobga olsak, oqimchalar o'rtasida o'zaro ishqalanish kuchlari paydo bo'ladi. Bo'lar o'zaro ma'lum juftlikni tashkil qiladi.

$$|T_a| = |T_b| \text{ va } \sum T = 0$$



4.2-rasm. Oqimning tekis harakati asosiy tenglamasini chiqarishga doir

Ta'sir etuvchi kuchlarning s o'qiga proektsiyasi yig'indisini topamiz.

$$G_s + P_1 - P_2 - T_0 = 0 \quad (4.7)$$

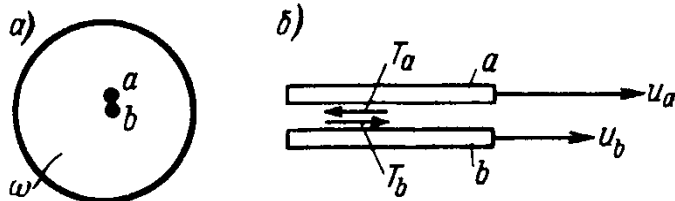
bu tenglamaga (4.5) va (4.6) ifodalarni qo'ysak

$$\gamma\omega(z_1 - z_2) + p_1\omega - p_2\omega - T_0 = 0$$

(4.8)

Hosil bo'lgan ifodani $\gamma\omega$ ga bo'lsak, quyidagini olamiz:

$$(z_1 - z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} - \frac{T_0}{\gamma\omega} = 0$$



4.3-rasm. Ichki ishqalanish kuchlari

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = \frac{T_0}{\gamma\omega} \quad (4.9)$$

4.2-rasmga asosan

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = h_l \quad (4.10)$$

Demak,

$$h_l = \frac{T_0}{\gamma\omega} \quad (4.11)$$

Bundan tashqari,

$$T_0 = \chi l \tau_0 \quad (4.12)$$

ekanligini e'tiborga olsak, bunda τ_0 – devordagi o'rtacha ishqalanish kuchlanishi, χ – o'zan harakatdagi kesimining ho'llangan perimetri; $l-1-1$ va $2-2$ kesimlar oralig'i uzunligi.

$$h_l = \frac{\chi l}{\gamma \omega} \tau_0 \quad (4.13)$$

bunda, $R = \frac{\omega}{\chi}$ ekanligini inobatga olib,

$$\frac{h_l}{l} R = \frac{\tau_0}{\gamma} \quad (4.14)$$

$$\boxed{\frac{\tau_0}{\gamma} = RJ} \quad (4.15)$$

bunda

$$J = \frac{h_l}{l}; \quad (4.16)$$

pezometrik nishablik, yani pezometrik bosimning uzunlik bo'yicha o'zgarishi.

4.15 ifodani akademik N.N.Pavlovskiy oqimning *barqaror tekis harakati asosiy tenglamasi* deb nomlagan. «To'g'ri o'zanlar» uchun quyidagi ko'riishga ega:

$$h_l = \frac{\tau_0}{\gamma} \frac{l}{R} \quad (4.17)$$

Ichki va tashqi ishqalanish kuchlari tufayli paydo bo'layotgan napor yo'qolishi xuddi shunday aniqlanishi mumkin.

Ta'kidlash kerakki, (4.15) va (4.17) tenglama nafaqat tsilindrik shakldagi bosim ostida harakatlanayotgan suyuqlik oqimi uchun, balki tekis barqaror harakatlanayotgan har qanday oqim uchun o'rinlidir. Shu bilan birgalikda olingan tenglamalarni oqimdan ajratib olingan «suyuqlik ustunlari» uchun o'rinli ekanligini 4.2-rasmdagi shtrixlangan soha misolida ko'rsatish mumkin. Bu «suyuqlik ustuni» uchun (4.15) va (4.17) tenglamalarni quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$\frac{\tau}{\gamma} = R'J \quad (4.18)$$

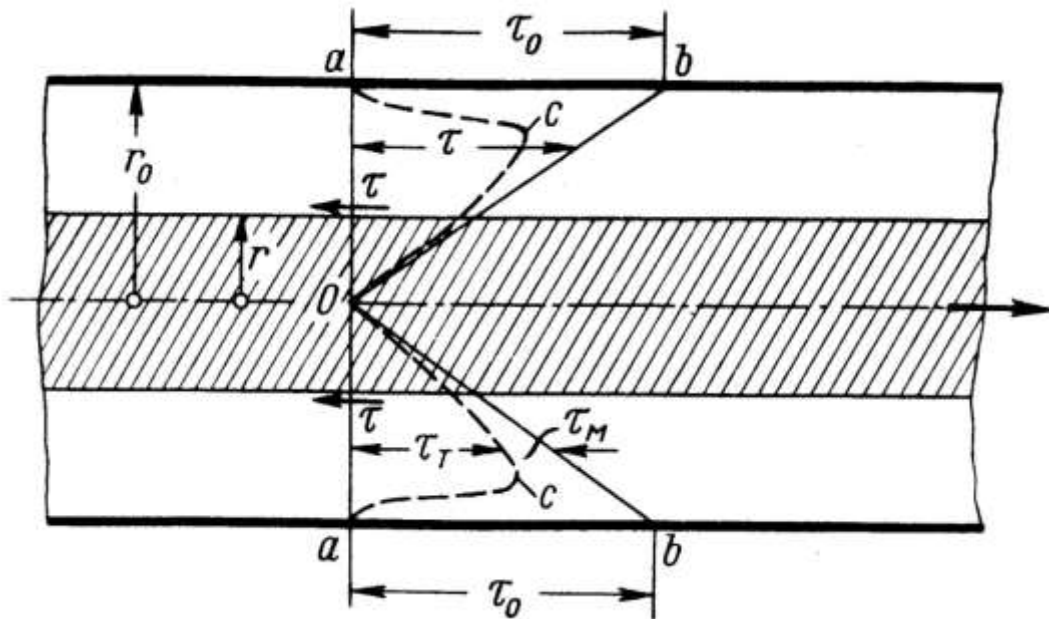
$$h_l = \frac{\tau}{\gamma} \frac{l}{R'} = \frac{\tau}{\gamma} \frac{\chi'}{\omega'} l \quad (4.19)$$

bunda, $R' = \frac{\omega'}{\chi'}$, ω' va χ' – oqimning ajratilgan «suyuqlik ustuni» harakatdagi kesimining yuzasi va ho'llangan perimetrlaridir; Umumiy yuzasi $\chi' \cdot l$ – bo'lgan ustun yon devorlari uchun o'rtacha urinma ishqalanish kuchlanishi; h_l – (4.10) formula bilan aniqlanadigan butun oqim uchun napor yo'qolishi.

4.4-rasmda r_0 radiusli aylana tsilindrsimon shakldagi quvurda oqim napor ostida harakatlanmoqda. Undan r radiusli shtrixlar bilan belgilangan «suyuqlik ustuni» ajratib olamiz. Bu soha uchun $R' = r/2$, ekanligini hisobga olib, (4.18) formulani quyidagicha yozamiz:

$$\tau = \frac{1}{2} \gamma J r \quad (4.20)$$

Demak, agar J pezometrik nishablik ma'lum bo'lsa, τ bo'ylama ichki urinma ishqalanish aylana tsilindrsimon quvurlarda chiziqli qonuniyat asosida taqsimlanadi (qarang Oab epyuralar).



4.4-rasm. Naporli aylana shaklli quvurlarda urinma bo'ylama ishqalanish kuchlanishlari (τ) ning oqimning harakatdagi kesimi bo'ylab taqsimlanishi

Bu formulani $J = h_l/l$, $R' = r/2$ va $\gamma = \rho g$ munosobatlarni inobatga olib yozsak:

$$h_l = \frac{\tau}{\rho g} \frac{l}{R'} \quad (4.21)$$

(4.17) formulada:

$$\frac{\tau_0}{\gamma} = \xi \frac{v^2}{2g}$$

deb yozish mumkin,demak,

$$h_l = \frac{\tau_0}{\gamma} \frac{l}{R} = \xi \frac{l}{R} \frac{v^2}{2g}$$

Bu formula *Veysbax* formulasi deyiladi. Formulada aylana tsilindrsimonquvurlar

uchun
$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\pi d^2/4}{\pi d} = \frac{d}{4}$$
 munosabat o'rinlidir. Demak,

$$h_l = 4\xi \frac{l}{d} \frac{v^2}{2q} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2q}$$

Bu yerda $\lambda = 4\xi$ deb belgilash kiritdik. Har ikkala koeffitsient ham o'lchov birlikka ega emas. Bu formula *Darsi-Veysbax* formulasi deyiladi. λ –bundan keyin *gidravlik ishqalanish koeffitsienti* yoki *Darsi koeffitsienti* deb yuritamiz.

Yuqoridagilarga asoslanib, (4.15) ifodada $J = i$ ekanligini hisobga olsak:

$$\frac{\tau_0}{\gamma} = RJ = \xi \frac{v^2}{2g} = \frac{\lambda}{4} \frac{v^2}{2g} = \frac{\tau_0}{\rho g}$$

Tenglamadan oqimning o'rtacha tezligini aniqlaymiz:

$$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{Ri}$$

bunda, $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$ – belgilash kiritamiz.

S – *Shezi koeffitsienti* deyiladi. Demak,

$$v = C\sqrt{Ri}$$

Bu formula esa *Shezi formulasi* deb ataladi.

4.3. OQIMNING HARAKATIGA TA'SIR ETUVCHI OMILLAR

Aziz o'quvchi, bu mavzuga kirishdan oldin shuni e'tirof etish kerakki, napor yo'qolishining suyuqlik harakatini belgilovchi bir necha omillarga bog'liqligini o'rganish gidravlika fanining asosiy masalalaridan biri hisoblanadi. Endi biz keyingi mavzularda bu masalaga batafsil to'xtalamiz. Bu mavzuda bu parametrning aniqlanish formulalarining strukturasi bilan tanishishni o'z oldimizga maqsad qilib qo'yamiz.

Bizga ma'lumki, suyuqlikning baqaror harakatida oqimning o'rtacha tezligi v va bosimlar o'zgarishi Δp suyuqlik oqimining fizik hossasiga va o'zan devorining g'adir-budirligiga bog'liq.

Suyuqlikning qanday o'lchov birlikli kattaliklarga bog'liqligi quyidagi jadvalda keltirilgan. Bunda o'lchov birliklar massa M , uzunlik L va vaqt T larda ifodalangan.

4.1-jadval.

Suyuqlikning fizik xossasi	Hajmiy og'irlik	Zichlik	Dinamik yopishqoqlik koeffitsienti	Sirt taranglik koeffitsienti	Bikrlik moduli
Belgilanishi	γ	ρ	μ	σ	K
O'lchov birligi	$\frac{M}{L^2 T^2}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{LT}$	$\frac{M}{T^2}$	$\frac{M}{LT^2}$

$$[v] = \frac{L}{T} \text{ va } [\Delta p] = \frac{M}{LT^2}.$$

Xuddi shuningdek

Bu kattaliklar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik quyidagi formula orqali ifodalanishi mumkin:

$$f(l, l_1, l_2, \Delta, v, \Delta p, \gamma, \rho, \mu, \sigma, K) = 0$$

bunda, l, l_1, l_2 – uch o'lchamli muhitni xarakterlovchi chiziqli kattaliklardir. Δ – g'adir-budirliliklar balandligi.

Bu ifoda tarkibiga 11 ta kattalik kirib, ulardan uchta mustaqil o'lchov birlikka ega. Bo'lar uzunlik, tezlik va zichlik o'lchov birliklaridir. Qolganlaridan

ixtiyoriy birini N_i deb belgilab, bu kattalikning o'lchov birligi yuqorida e'tirof etilgan uch kattalik o'lchov birligiga bog'liqligiga ishonch hosil qilishimiz mumkin:

$$[N_i] = [l]^x [\nu]^y [\rho]^z \quad (4.22)$$

bundan

$$\frac{[l]^x [\nu]^y [\rho]^z}{[N_i]} = L^0 M^0 T^0 \quad (4.23)$$

Ko'rinishida, $\frac{l^x \nu^y \rho^z}{N_i}$ kattalik π_i sonini beradi, demak,

$$\left. \begin{aligned} \pi_i &= \frac{l^x \nu^y \rho^z}{N_i} = L^0 M^0 T^0 \\ \pi'_i &= \pi_i^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

Ular o'lchov birliksiz majmua bo'lib, π hadlar deb yuritiladi.

π teoremasiga asosan ifodani sakkizta kattalikka funktsional bog'liqlik ko'rinishida ifodalash mumkin.

Yuqoridagi tenglamani boshqa barcha l, ν, ρ kattaliklardan tashqari hadlarga qo'llab, quyidagilarga ega bo'lamiz, chunki bu kattaliklar uchun (4.24) ifoda birga teng bo'ladi: (4.24) tenglamani Δ had uchun qullaymiz:

$$[l]^x [\nu]^y [\rho]^z [\Delta]^{-1} = L^0 M^0 T^0$$

yoki

$$L^x \left(\frac{L}{T} \right)^y \left(\frac{M}{L^3} \right)^z (L)^{-1} = L^0 M^0 T^0.$$

Ularni bir xil o'lchov birliliklar uchun o'zaro tenglaymiz:

$$x + y - 3z - 1 = 0; \quad z = 0; \quad -y = 0$$

bundan:

$$x = 1; \quad y = 0; \quad z = 0.$$

Demak, (4.24) ifodaga asosan, Δ kattalikni o'z tarkibiga oluvchi quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\pi_\Delta = \frac{l}{\Delta} \text{ yoki } \pi'_\Delta = \frac{\Delta}{l}.$$

Olingan natija suyuqlikning harakati g'adir-budirlikning absolyut qiymatiga Δ emas, balki nisbiy g'adir-budirlikka (Δ/l) bog'liq ekan, bunda, l – harakat sohasini xarakterlovchi chiziqli kattalik.

Endi hajmiy og'irlik uchun yuqoridagi tenglamani qo'llaymiz. Bu γ had uchun (4.24) tenglamani ko'rinishini yozamiz:

$$L^x \left(\frac{L}{T} \right)^y \left(\frac{M}{L^3} \right)^z \left(\frac{M}{L^2 T^2} \right)^{-1} = L^0 M^0 T^0,$$

Quyidagiga ega bo'lamiz:

$$x + y - 3z + 2 = 0; \quad z - 1 = 0; \quad -y + 2 = 0$$

demak:

$$x = -1; \quad y = 2; \quad z = 1.$$

(4.23) ifodaga asosan:

$$\pi_\gamma = \frac{\rho v^2}{\eta} = \frac{v^2}{gl}. \quad (4.25)$$

Bu parametr *Frud soni* deb atalib, suyuqlik og'irligining harakatiga ta'sirini ko'rsatib, quyidagicha belgilanadi:

$$Fr = \frac{v^2}{gl}. \quad (4.26)$$

Endi π_μ hadni ko'rib chiqamiz:

$$L^x \left(\frac{L}{T} \right)^y \left(\frac{M}{L^3} \right)^z \left(\frac{M}{L^2 T^2} \right)^{-1} = L^0 M^0 T^0$$

$$x + y - 3z + 1 = 0; \quad z - 1 = 0; \quad -y + 1 = 0,$$

bundan:

$$x = 1; \quad y = 1; \quad z = 1.$$

Demak, (4.24) ifodadan:

$$\pi_\mu = \frac{l v \rho}{\mu} = \frac{v l}{\nu}. \quad (4.27)$$

Bu parametr *Reynolds soni* deb yuritilib, yopishqoqlikni suyuqlik harakatiga ta'sirini ko'rsatishi va quyidagicha belgilanishi bizga ma'lum:

$$Re = \frac{v l}{\nu}. \quad (4.28)$$

Analog tarzda o'lchov birliklarni boshqa kattaliklarga nisbatan tahlil qilib, yuqorida e'tirof etilgan teoremaga asosan quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\pi_{l_1} = \frac{l_1}{l}; \quad \pi_{l_2} = \frac{l_2}{l}; \quad \pi_{\Delta p} = \frac{\rho v^2}{\Delta p};$$

$$\pi_\sigma = \frac{v^2 l}{\sigma / \rho}; \quad \pi_K = \frac{v^2}{K / \rho}$$

So'nggi uchta parametrlarning nomlari va belgilanishlari bilan tanishamiz. Quyidagi had *Eyler soni* deb atalib, asosan harakat ta'sirini xarakterlaydi:

$$Eu = \pi'_{\Delta p} = \frac{\Delta p}{\rho v^2}; \quad (4.29)$$

Quyidagi had *Weber soni* deb atalib, asosan harakatga sirt taranglik kuchining ta'sirini xarakterlaydi:

$$We = \frac{v^2 l}{\sigma / \rho}; \quad (4.30)$$

Quyidagi had *Koshi soni* deb atalib, asosan suyuqlik harakatida tezlik kattaligini ovoz tezligiga qadar oshishi natijasida harakat o'zgarishini xarakterlaydi:

$$Ca = \frac{v^2}{K/\rho} \quad (4.31)$$

Shuni ta'kidlash lozimki, $\sqrt{K/\rho}$ munosabat ovozning muhitdagi tarqalish tezligini xarakterlaydi. Shuning uchun bu parametr oqim tezligining ovoz tezligiga nisbatini belgilab, o'rtacha tezlikning ovoz tezligiga teng bo'lgan muhitlarda muhim ahamiyatga ega.

Umuman, oqimning beqaror harakatida ko'rib chiqilayotgan 11 kattalikdan tashqari vaqt ham kiritiladi. Bunda yana bir π had paydo bo'ladi,

$$Ch = \frac{l}{vt} \quad (4.32)$$

Struxal soni deb yuritiladi.

Olingan natijalarga asosan:

$$f\left(\frac{l_1}{l}, \frac{l_2}{l}, \frac{\Delta}{l}, Eu, Fr, Re, We, Ca\right) = 0 \quad (4.33)$$

Demak, suyuqlik harakati bu kattaliklarning alohida o'zi bilan emas, balki ularning o'zaro ta'sirini ko'rsatuvchi o'lchov birliklarsiz parametrlar bilan belgilanadi.

Gidrotexnika amaliyotida sirt taranglik kuchi ko'pincha hisobga olinmasdan, suvni siqilmas deb qaraladi ($K = \infty$; $Ca = 0$). Shu sababli, yuqoridagi tenglamani Veber va Koshi sonlarini inobatga olmasdan, Eu parametrga nisbatan yechamiz:

$$\frac{\Delta p}{\rho v^2} = F\left(\frac{l_i}{l}, \frac{\Delta}{l}, Fr, Re\right) \quad (4.34)$$

Bu funktsiyaning kattaligini aniqlash Gidravlikaning asosiy masalasidir. Yuqoridagi tenglamadan ko'rinib turibdiki, agar ikkita oqim bir-biriga o'xshash bo'lsa,

$$\frac{l_i}{l} = idem; \quad \frac{\Delta}{l} = idem.$$

Bu oqimlar uchun Frud va Reynolds sonlari bir kattaliklar teng bo'lsa, bu o'xshash oqimlar uchun quyidagiga ega bo'lamiz:

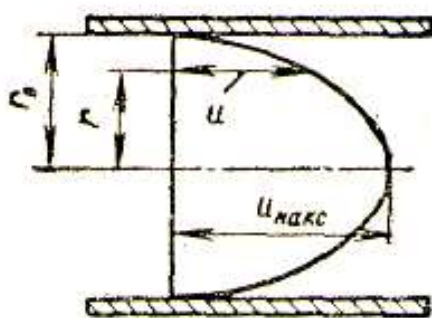
$$\frac{\Delta p}{\rho v^2} = idem.$$

Demak, yuqoridagi mulohazalarga asoslanib, Reynolds soni inersiya kuchining yopishqoqlik kuchiga nisbatiga, Frud soni inersiya kuchining og'irlik kuchiga nisbatiga, Eyler soni esa gidrodinamik bosim kuchining inersiya kuchlariga nisbatiga proportsionalliklarini e'tirof etishimiz mumkin.

I. OQIMNING TEKIS BARQAROR LAMINAR TARTIBDAGI HARAKATIDA TEZLIK TAQSIMLANISHI VA NAPORNING UZUNLIK BO'YICHA YO'QOLISHI

4.4. SUYUQLIKDA ICHKI ISHQALANISH KUCHLARI QONUNI. OQIMNING LAMINAR HARAKATIDA URINMA KUCHLANISH KATTALIGI

Oqimning laminar tartibdagi barqaror harakatida tezlik devor yaqinidagi nolga yaqin qiymatidan o'qdagi maksimal tezlikkacha o'zgaradi. Quvurda suyuqlik napor ostida harakatlanayotganda ingichka tsilindrik qatlamchalar ko'rinishida bo'lib, quvur o'qiga qarab, suyuqlik tezligi bosqichma-bosqich tekis oshib boradi (4.5-rasm).



4.5-rasm. Laminar oqim tuzilishi.

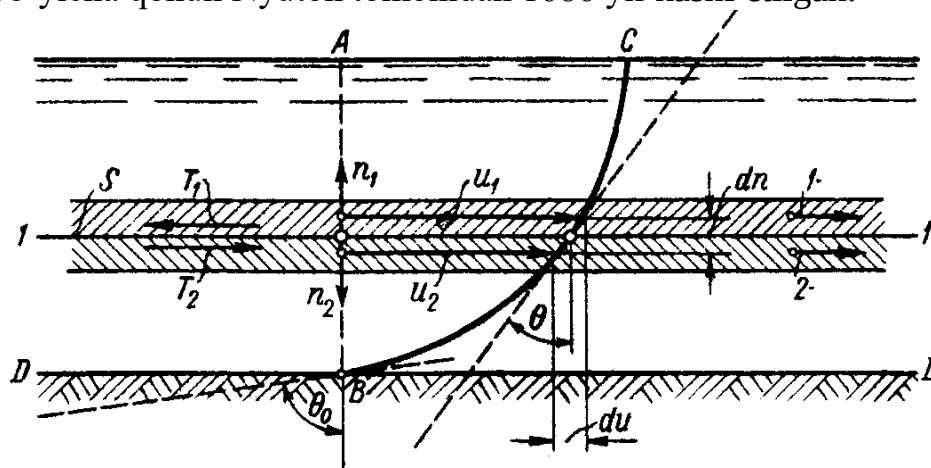
Tezroq harakatlanayotgan suyuqlik qatlamlari o'ziga sekin harakatlanayotgan qatlamni olib harakatlansa, sekin harakatlanayotgan qatlamlar tezroq harakatlanayotgan qatlamlarni sekinlashtirishi kuzatiladi. Ma'lum bir ma'noda tezroq harakatlanayotgan qatlamni sekin harakalanayotgan qatlam ustida sirpanishi ro'y bera boshlaydi. Suyuqlikni chegaralovchi devor va o'zining orasida zarrachalarini ushlanishi natijasida ishqalanish kuchlari paydo bo'ladi va suyuqlik deformatsiyalanadi. Ishqalanish kuchini sekinlashtirib, ushlab qolish ta'siri harakatni turli tezliklarda amalga oshishiga olib keladi. I.Nyuton tomonidan bashorat qilinib, oradan qariyb 200 yildan so'ng N.P.Petrov va Kulon tomonidan tadqiqotlar bilan tasdiqlangan ishqalanish kuchini xarakterlovchi qonun laminar harakat uchun o'rinlidir.

Oqim harakatida uzunlik bo'yicha qirqim olib (4.6-rasm), unda AV harakatdagi kesim va AVS tezlik epyurasini ajratib olamiz. Bunda u_1 va u_2 tezlik bilan harakatlanayotgan ikki qatlam bilan tanishamiz. Bu ikki qatlam tutashgan 1-1 sirt S yuzaga ega deb olamiz. Bu sirt har ikkala qatlam tomonidan o'sib boruvchi T_1 va T_2 ishqalanish kuchlari ta'sir qiladi.

$$|T_1| = |T_2| \quad (4.35)$$

Real suyuqlik oqimida bu kuchlar hisobiga paydo bo'layotgan τ urinma kuchlanish haqida oldingi mavzularda tanishdik. Biz bu holda faqat uzunlik

bo'yicha urinma kuchlanishlar bilan tanishamiz. Bu holatga ta'luqli ishqalanish kuchlar bo'yicha qonun Nyuton tomonidan 1686 yil kashf etilgan.



4.6-rasm. Suyuqlik oqimining harakatida uzunlik bo'yicha ishqalanish kuchlari uchun sxema

Bu qonunni quyidagicha ifodalash mumkin:

O'zaro parallel oqimchalarining ishqalanishi natijasida paydo bo'ladigan T ishqalanish kuchi:

- 1) *tezlik gradientiga to'g'ri proportsional;*
- 2) *suyuqlikning bu qatlamlari s yuzasiga to'g'ri proportsional;*
- 3) *bosimga bog'liq emas;*
- 4) *suyuqlikning fizik xossasiga (turiga) va haroratiga bog'liq,*
ya'ni,

$$T = \eta S \left| \frac{du}{dn} \right| \quad (4.36)$$

bunda, η – dinamik yopishqoqlik koeffitsienti. Bu koeffitsient kattaligi – viskozimetr deb ataluvchi asboblarda tajriba o'tkazish yo'li bilan aniqlanadi. Bu kattalik suyuqlik turiga va haroratga bog'liq bo'lib, ayrim hollarda molekulyar yoki fizik yopishqoqlik koeffitsienti deb yuritiladi.

du/dn – tezlik gradienti, 1-1 sirtga nisbatan o'tkazilgan n normal bo'yicha $|u|$ tezlikdan olingan hosila

$$\frac{du}{dn} = \operatorname{tg} \theta \quad (4.37)$$

θ – 1-1 sirt chizig'ida yotuvchi nuqta epyurasi egriligi (VS) ga o'tkazilgan urinma va vertikal orasidagi burchak. Bundan keyin yozuvni soddalashtirish uchun $|du/dn|$ gradientni du/dn deb yozamiz. du/dn gradient n yo'nalishga bog'liq holda (qarang 4.6-rasm n_1 va n_2 yo'nalishlar) ham musbat, ham manfiy qiymatlarni qabul qilishi mumkin. Shu sababli, bunday vaziyatda uning absolyut qiymatini tushunishimiz kerak. Bu gradient (4.37) munosabat bilan ifodalanadi.

Shunga e'tibor berish kerakki, oqim tezligining harakatdagi kesim bo'ylab tekis taqsimlanishida $\frac{du}{dn} = 0$ holat uchun real suyuqliklarda (4.36) ifodaga asosan ishqalanish bo'lmasligi kerak.

Bunda kuchlanish ellipsoidi (4.7, *a*-rasm) oʻrniga sharsimon sirt koʻrinishdagi (4.7, *b*-rasm) kuchlanish boʻlishi mumkin.

Uzunlik boʻyicha ichki ishqalanishning laminar harakatdagi urinma kuchlanishi toʻgʻri chiziqli harakatda quyidagicha ifodalanishi mumkin:

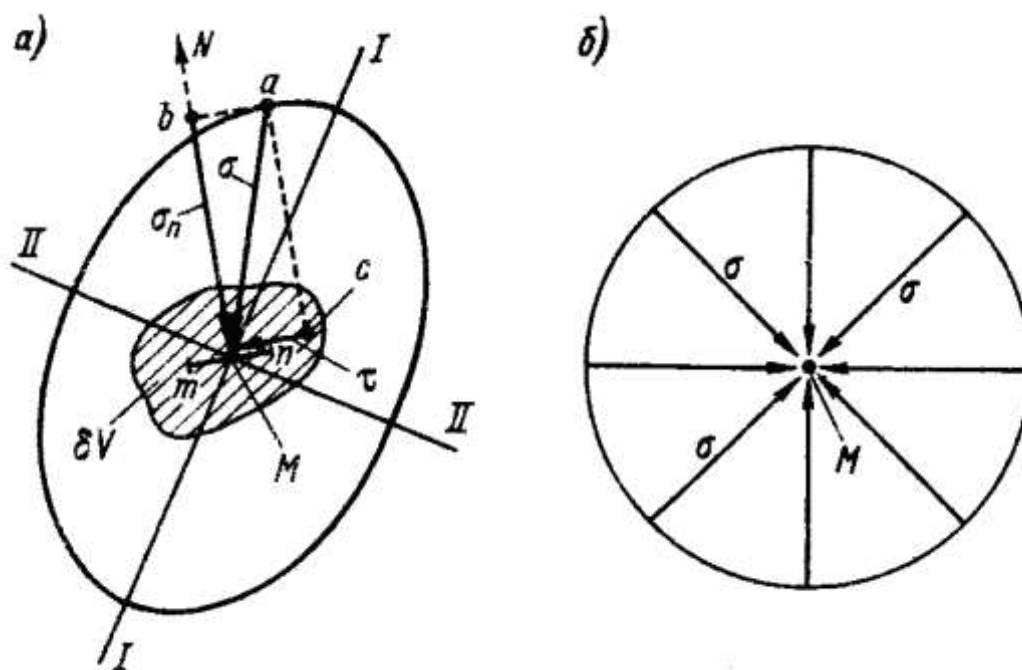
$$\tau = \frac{T}{S} = \eta \frac{du}{dn} = \eta \operatorname{tg} \theta \quad (4.38)$$

Agar oqim tubining *D-D* sirti bilan tanishsak, koʻpchilik tadqiqotchilar fikriga asosan, nihoyatda yupqa devorga yopishgan, qoʻzgʻalmas qatlam mavjud boʻlib, shu sababli suyuqlikning sirpanishi roʻy beradi. Shunga asosan devor yaqinida $i = 0$.

Tezlik gradienti esa,

$$\left(\frac{du}{dn} \right)_0 = \operatorname{tg} \theta_0 \quad (4.39)$$

bunda, burchak θ_0 – 4.6-rasmda koʻrsatilgan.



4.7-rasm. Toʻliq muhitda berilgan *M* nuqtadagi kuchlanish:

- a) kuchlanishlar ellipsi;
- b) kuchlanishlarning sharsimon yuzasi

Laminar harakat uchun

$$T_0 = \eta S_0 \left(\frac{du}{dn} \right)_0 ; \tau_0 = \eta \left(\frac{du}{dn} \right)_0 = \eta \operatorname{tg} \theta_0 \quad (4.40)$$

Agar oldingi mavzuda π (yoki τ_0) kuchlanish bilan h_l kattalik orasidagi bogʻliqlikni oʻrgangan boʻlsak, bu mavzuda laminar tartibdagi oqim harakati uchun τ kuchlanish bilan harakatdagi kesim boʻylab u tezlik oʻzgarishi intensivligi hamda yopishqoqlik orasidagi bogʻliqlik oʻrganildi. Bu keltirilgan bogʻliqliklar yordamida π (yoki τ_0) kattalik orqali napor yuqolishi h_l bilan suyuqlikning fizik hossasi hamda

harakatdagi kesim bo'ylab u tezlik taqsimlanishi xarakteri o'rtasidagi analitik bog'liqlikni aniqlash mumkin.

4.5. TEKIS BARQAROR LAMINAR TARTIBDA HARAKATLANAYOTGAN SUYUQLIK OQIMINING HARAKATDAGI KESIMI BO'YLAB u TEZLIK TAQSIMLANISHI

r_0 radiusli tsilindrik quvurda bosim ostida harakatlanayotgan suyuqlik oqimi bilan tanishamiz (4.8-rasm). AV kesimning AVS epyurasini ko'rsatamiz va AVS egrilik tenglamasini aniqlashga harakat qilamiz. Buning uchun harakatlanayotgan suyuqlik ichida r radiusli tsilindrik to'plamni belgilab olamiz.

1) Bu to'plam uchun yon sirtlar bo'yicha τ ishqalanish kuchlanishlarini ikki xil ko'rinishda yozish mumkin:

$$\tau = \gamma R' J = \gamma \frac{r}{2} J \quad (4.41)$$

bunda, ko'rilayotgan to'plam gidravlik radiusi:

$$R' = \frac{\omega'}{\chi'} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} \quad (4.42)$$

2) Nyuton qonuniga asosan:

$$\tau = \eta \left| \frac{du}{dn} \right| = -\eta \frac{du}{dr} \quad (4.43)$$

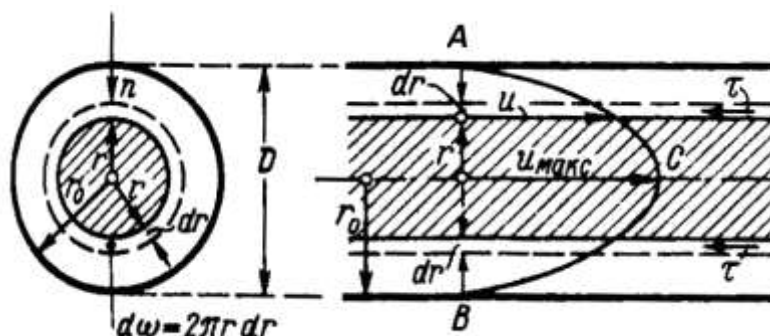
Tanlangan yo'nalishda (r) (4.8-rasmga qarang) $\frac{du}{dn}$ manfiydir.

(4.41) va (4.43) ifodalarni birgalikda yechib,

$$\gamma \frac{r}{2} J = -\eta \frac{du}{dn} \quad (4.44)$$

yoki

$$du = -\frac{1}{2} \frac{\gamma}{\eta} J r dr \quad (4.45)$$



4.8-rasm. Aylana quvurdagi suyuqlikning tekis barqaror laminar tartibdagi harakati

Bu tenglamani integrallab, quyidagini hosil qilamiz:

$$u = -\frac{\gamma}{4\eta} J r^2 + C \quad (4.46)$$

S doimiylikni $r = r_0$ va $u = 0$ boshlang'ich shart uchun topamiz:

$$0 = -\frac{\gamma}{4\eta} Jr_0^2 + C \quad (4.47)$$

bunda

$$C = \frac{\gamma}{4\eta} Jr_0^2 \quad (4.48)$$

(4.48) ifodani (4.46) tenglamaga qo'yamiz:

$$u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2 - r^2) \quad (4.49)$$

bunda, J – pezometrik nishablik.

Demak, ASV (4.49) ifodaga asosan, paraboladir. (4.49) ifodaga $r=0$ kattalikni qo'yib, tezlikning maksimal qiymatini yozishimiz mumkin

$$u_{\max} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} Jr_0^2 \quad (4.50)$$

4.6. AYLANA TSILINDRIK QUVURDAGI Q SARFLI OQIM UCHUN PUAZEYL FORMULASI. BARQAROR TEKIS, LAMINAR TARTIBDA HARAKATLANAYOTGAN SUYUQLIK UCHUN NAPORNING UZUNLIK BO'YICHA YO'QOLISHI

Suyuqlik oqimining tsilindrik quvur orqali napor ostidagi harakatini ko'rib chiqamiz (4.8-rasm). Quvur orqali harakatlanayotgan oqimning Q sarfini aniqlaymiz. r radiusli elementar yuza ($d\omega$) orqali o'tayotgan sarfni aniqlaymiz

$$dQ = u d\omega = u 2\pi r dr \quad (4.51)$$

bunda

$$d\omega = 2\pi r dr$$

(4.51) ifodaga (4.49) ifodani qo'ysak,

$$dQ = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2 - r^2) 2\pi r dr = \frac{1}{2} r^2 u_{\max} \quad (4.52)$$

Bu ifodani yuza bo'yicha integrallasak, umumiy sarfni aniqlaymiz

$$Q = \frac{\pi}{2} \frac{\gamma}{\eta} J \int_{r=0}^{r=r_0} (r_0^2 - r^2) r dr = \frac{\pi}{8} \frac{\gamma}{\eta} Jr_0^4 = \frac{\pi}{128} \frac{\gamma}{\eta} JD^4$$

yoki

$$\boxed{Q = MJD^4} \quad (4.53)$$

bunda, M – koeffitsient suyuqlik turiga bog'liq:

$$M = \frac{\pi}{128} \frac{\gamma}{\eta} \quad (4.54)$$

O'rtacha tezlik esa,

$$v = \frac{Q}{\omega} = \left(\frac{\pi}{128} \frac{\gamma}{\eta} JD^4 \right) : \frac{\pi D^2}{4} = \frac{1}{32} \frac{\gamma}{\eta} JD^2 \quad (4.55)$$

yoki

$$\nu = \frac{1}{32} \frac{\gamma}{\eta} \frac{h_l}{l} D^2 = \frac{1}{8} \frac{\gamma}{\eta} Jr_0^2 = \frac{1}{2} u_{\text{макс}} \quad (4.56)$$

bundan ko‘rinib turibdiki,

$$\nu = \frac{1}{2} u_{\text{макс}}$$

Ya’ni, suyuqlik oqimining tsilindrik quvur orqali napor ostidagi laminar tartibdagi tekis barqaror harakatida uning o‘rtacha tezligi maksimal tezlikning yarmiga teng ekan.

Napor yo‘qolishi esa quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$h_l = 32 \frac{\eta}{\gamma} \frac{l}{D^2} \nu \quad (4.57)$$

(4.53) ifoda 1840 yilda meditsina sohasi bo‘yicha doktor *Puazeyl* tomonidan yozilgan bo‘lib, bu ifodani u kapillyar naychalarda suyuqlik harakatini o‘rganib, tadqiqot qilish natijasida kashf qilgan. (4.57) ifodani kuzatib, quyidagi asosiy xulosalarni qilish mumkin.

Oqimning laminar tartibdagi harakatida napor yo‘qolishi quyidagilarga bog‘liq:

- 1) suyuqlikning yopishqoqligini (η) va hajmiy og‘irligini (γ) hisobga oluvchi fizik xossasiga;
- 2) o‘rtacha tezlikning birinchi darajasiga to‘g‘ri proportsional;
- 3) o‘zanning g‘adir-budirligiga bog‘liq emas.

Ayrim hollarda tsilindrik quvurlarda laminar tartibda harakatlanayotgan oqim energiyasi (napori) ning yo‘qolishi (h_l) quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$h_l = 32 \frac{\eta}{\gamma} \frac{\nu}{D^2} l = 32 \frac{\nu}{D} \frac{l}{D} \frac{\nu}{g} \frac{2}{2} \frac{\nu}{\nu} = 64 \frac{\nu}{D\nu} \frac{l}{D} \frac{\nu^2}{2g} \quad (4.58)$$

bundan,

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{\nu^2}{2g} \quad (4.59)$$

Bu ifodalardan ko‘rinib turibdiki, gidravlik ishqalanish koeffitsienti λ suyuqlik oqimining laminar tartibdagi harakatida uning tezligiga bog‘liq

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}_D} \quad (4.60)$$

4.7. SUYUQLIKNING LAMINAR TARTIBDAGI TEKIS BARQAROR HARAKATIDA KORIOLIS VA BUSSINESK KOEFFITSIENTINI ANIQLASH FORMULALARI VA TAJRIBAVIY QIYMATLARI

Kinetik energiyaning tuzatish koeffitsienti (korrektiv – α) ning va harakat miqdorining tuzatish koeffitsienti mohiyatini yuqoridagi mavzularda ko‘rib chiqqan edik:

$$\frac{K\mathfrak{E}(M)}{[K\mathfrak{E}(M)]_{yp}} = \frac{\int u^3 d\omega}{\nu^3 \omega} = \alpha \text{ va } \frac{XM(M)}{[XM(M)]_{yp}} = \frac{\int u^2 d\omega}{\nu^2 \omega} = \alpha_0 \quad (4.61)$$

(3.88, 4.49) formulalarga asosan, suyuqlikning laminar tartibdagi harakati uchun harakatdagi kinetik energiyaning tuzatish koeffitsienti (korrektiv – α) ning sonli qiymatiga aniqlik kiritishimiz mumkin:

$$\alpha = \frac{K\mathfrak{E}(M)}{[K\mathfrak{E}(M)]_{yp}} = \frac{\int u^3 d\omega}{v^3 \omega} = \frac{1}{\omega} \int \left(\frac{u}{v}\right)^3 d\omega =$$

$$= \frac{\int_{r=0}^{r=r_0} \left[\frac{\gamma J}{4\eta} (r_0^2 - r^2) \right]^3 2\pi r dr}{\pi r_0^2 \left(\frac{\gamma J r_0^2}{4\eta} \right)^3} = \frac{\frac{\gamma^3 J^3}{4^3 \eta^3} r_0^6 \frac{1}{8} 2\pi r_0}{\frac{\gamma^3 J^3}{4^3 \eta^3} \pi r_0^2 \frac{1}{2^3} r_0^6} = 2,0 \quad (4.62)$$

Tadqiqotchilar tomonidan, harakat miqdori korrektivining qiymati 1,33 ekanligi aniqlangan.

Shuning uchun laminar harakatda korrektivlar kattaliklarini quyidagicha yozish mumkin

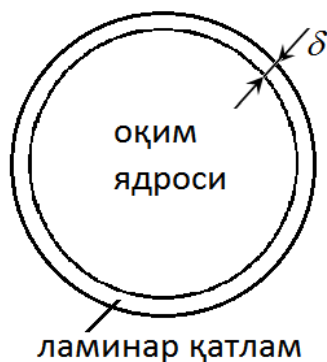
$$\alpha_0 = 1,33; \quad \alpha = 2,0$$

II. TURBO‘LENT OQIMNI HISOBLANISH MODELII. SUYUQLIKNING TURBO‘LENT TARTIBDAGI HARAKATIDA O‘RTACHA TEZLIKNING TAQSIMLANISHI

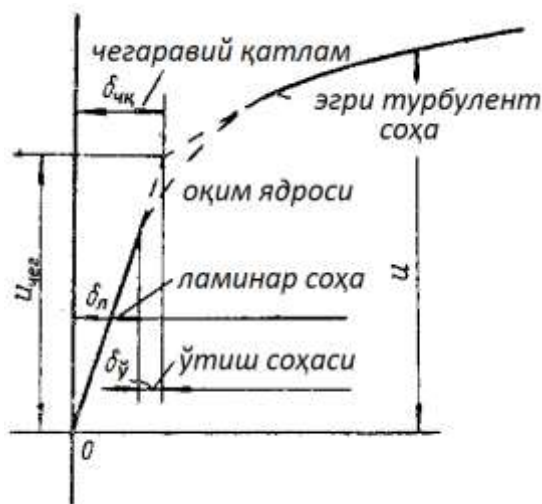
4.8. TURBO‘LENT HARAKATDAGI OQIMNI O‘RGANISHDA FOYDALANILADIGAN ASOSIY TUSHUNCHALAR

Yuqoridagi mavzularda e’tirof etilganidek, turbo‘lent tartibdagi oqim harakati uni tashkil etuvchi molekulalar birikmasi – kontiniumning jadal aralashuvchanligi bilan xarakterlanadi. Ko‘pgina tadqiqotlar turbo‘lent tartibda harakatlanayotgan oqimning tarkibini ikki qatlamdan iborat deb qarash qulay degan xulosaga kelishgan. 1925 yilda L.Prandtl ham turbo‘lent tartibdagi oqim harakatini o‘rganib, xuddi shunday xulosaga kelgan. Uning gipotezasiga asosan turbo‘lent oqim turbo‘lent yadro va nihoyatda kichik o‘lchamli devor yaqinida paydo bo‘ladigan laminar qatlam yoki yopishqoq qatlamdan iborat deb qaraladi. Uni quyidagi sxema ko‘rinishida ko‘rsatish mumkin (4.9-rasm).

Lekin, Matioli va G.Gurjienko tadqiqotlari natijasida bu chegaraviy qatlam tushunchasiga o‘zgarish kiritildi. Chunki, ularning tadqiqotlari bu sohadagi suyuqlik harakatiga tezlik, bosim va urinma kuchlanishlar pulsatsiyasi – tebranishi ta’sir ko‘rsatishi isbotlangan. Shu sababli, bu qatlamni laminar emas, balki yopishqoq qatlam deb qarash maqsadga muvofiqdir. Unga asosan, bu qatlam laminar va aralash o‘tish sohasidan iborat deb qarash taklif etilgan. O‘tish sohasida goh laminar, goh turbo‘lent harakat tartiblari bo‘lishi e’tirof etilgan.



4.9-rasm. Turbo‘lent oqim ko‘ndalang kesimi L.Prandtl taklifi.



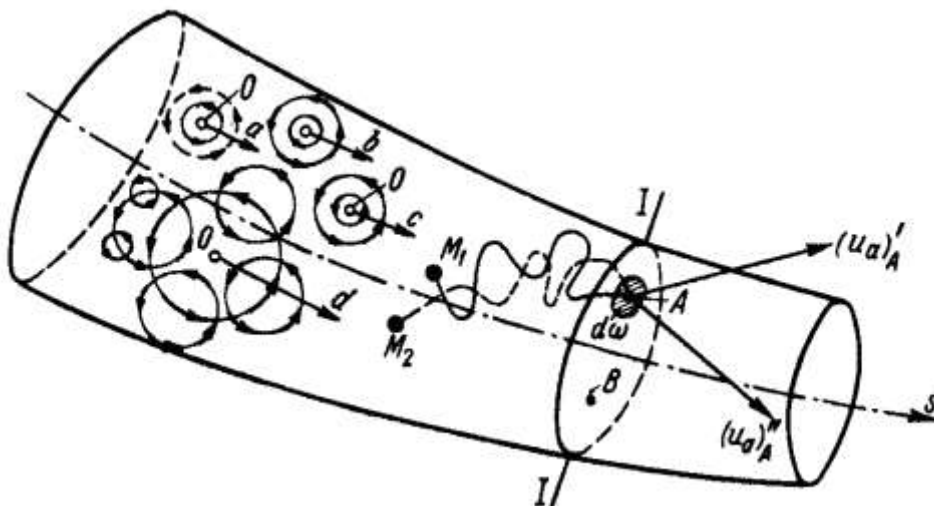
4.10-rasm. Turbo‘lent oqim tuzilishi. Mattioli va G.Gurjienko taklifi.

Laminar sohada tezlikning taqsimlanishi chiziqli qonuniyatga bo‘ysunsa, oqim yadrosida bu logarifmik qonuniyat asosida amalga oshishi e’tirof etilgan. Mana shu o‘tish sohasida g‘adir-budirlik hisobiga buramalar paydo bo‘lib, bu buramalar turbo‘lent oqimda aralashishni keltirib chiqaradi. Oqimning yuqori darajadagi turbo‘lentlashishi kvadrat qarshiliklar sohasida ro‘y berishi kuzatilgan. Quyida bu mavzuga batafsil to‘xtalishdan oldin foydalaniladigan asosiy tushunchalar haqida ma’lumot beramiz.

Mahalliy oniy tezlik (aktual tezlik) . Turbo‘lent tartibda harakatlanayotgan oqim strukturasi quyidagicha tasavvur qilishimiz mumkin. Suyuqlik oqimining yuqori tezliklarida turli shakl va kattaliklariga ega bo‘lgan suyuqlik hajmlari (4.11-rasm, a, b, s) suyuqlik ichida tartibsiz aylanma harakatlana boshlaydi. Suyuqlik ichida paydo bo‘luvchi va tarqalib ketuvchi aylanmalar oqim bo‘ylab o‘zgarib boradi.

Berilgan 1-1 kesimdan bu hajmlar ma’lum vaqtlarda oralig‘ida ilgariylanma harkatlanib o‘tadi. Agar bu o‘tayotgan hajmlarning biror A qo‘zg‘almas nuqtadan zarrachalarni olsak, bu zarrachalar 0 markazga nisbatan aylanma va ilgariylanma harakat qiladi. Shu sababli, bu nuqtada tezlik har doim o‘zgarib turadi.

Agar A nuqtaga tushayotgan zarrachalar to‘plamini ($M_1, M_2, \dots$) turli t vaqt oralig‘idagi harakatini kuzatsak, quyidagilarni kuzatish mumkin:



4.11-rasm. Turbo‘lent harakat sxemasi

- a) M_1 zarracha turli traektoriya chizib harakatlanib, ixtiyoriy t_1 vaqtda A nuqtada $(u_a)'_A$ tezlikka ega bo‘ladi.
- b) M_2 zarracha esa boshqacha traektoriya bo‘ylab harakatlanib, A nuqtadan t_2 vaqtda $(u_a)''_A$ tezlikka ega bo‘ladi.

1-1 kesimning boshqa V nuqtasida ham $(t_1, t_2, \dots)$ turli vaqtlarda turli tezlik $\left[(u_a)'_B, (u_a)''_B, K \right]$ larga ega bo‘lishi mumkin.

Demak, muxitning ixtiyoriy qo‘zg‘almas nuqtasidagi ixtiyoriy (t) vaqtdagi xaqiqiy u_a tezligi *oniy mahalliy tezlik* yoki *aktual tezlik* deyiladi.

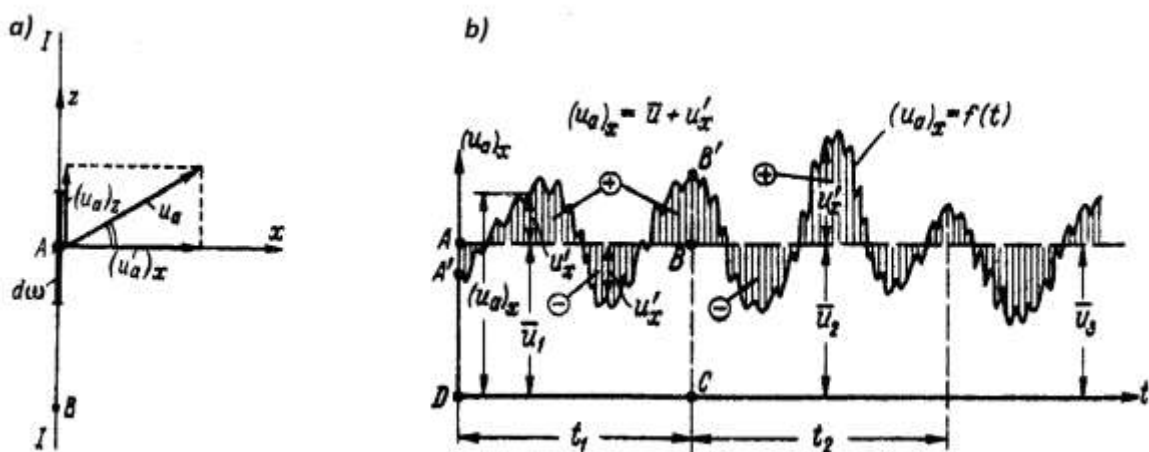
Mahalliy oniy (aktual) tezlik tebranishi. 4.12, a-rasmda oqimning 1-1 tekis ko‘ndalang kesimini belgilab olamiz, undagi A qo‘zg‘almas nuqta atrofida $d\omega$ elementar yuzani belgilaymiz. Bu yuzaga Ax tik chiziqni va Az ortogonal chiziqni chizib olamiz. Bu nuqtadagi tezlikni u_a deb belgilab, uning Ax va Az o‘qlarga proektsiyalarini $(u_a)_x$ va $(u_a)_z$ deb olamiz.

Aktual tezlik $(u_a)_x$ ning bo‘ylama tashkil etuvchisi quyidagi tomonlari bilan xarakterlanadi.

- a) doimo o‘z yo‘nalishiga ega bo‘ladi (u_a tezlikdan farqli o‘laroq) ;
- b) u_a tezlikning vaqt o‘zgarishi bilan kattaligi o‘zgarishiga mos ravishda, bu tashkil etuvchi ham o‘z kattaligini o‘zgartiradi.

Bu tashkil etuvchilarni mos ravishda *bo‘ylama* $(u_a)_x$ va *ko‘ndalang* $(u_a)_z$ tezliklar deb ataymiz.

$(u_a)_x$ tezlikning vaqt o‘tishi bilan A nuqtadagi o‘zgarishi 4.12, b-rasmdagi kabi ifodalanadi. U *bo‘ylama tezlikning tebranish grafigi* deyiladi.



4.12-rasm. a) Bo'ylama aktual $[(u_a)_x]$ tezlik va ko'ndalang aktual $[(u_a)_z]$ tezlik
b) Muhitda joylashgan A qo'zg'almas nuqtadagi (4.11-rasm) bo'ylama aktual tezlikning tebranish grafigi sxemasi

Xuddi shu tarzda ko'ndalang tezlik tebranishini ifodalashimiz mumkin (4.13, a-rasm). Demak, mahalliy oniy tezlik tashkil etuvchilarining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi *tezlik tebranishi* deyiladi. Bu hodisani Pito naychasida suyuqlikning ko'tarilishi va tushishida kuzatish mumkin.

O'rtacha mahalliy tezlik. Tebranma tezlik. Bu 4.12, b-rasmida ifodalangan bo'ylama tezlik tebranishi grafigidan t_1 vaqt oralig'ini tanlab olib, unda AV to'g'ri chiziqni o'tkazamiz. Bunda AV chiziqni shunday o'tkazamizki, AVSD va A'VSD yuzalarining tengligiga erishamiz, ya'ni

$$\Omega_{ABCD} = \Omega_{A'B'CD}$$

Shu shart bajarilganda, A nuqtada bo'ylama tezlikning o'rtacha u_1 qiymati mavjud bo'ladi.

Xuddi shuningdek, t_2 vaqt oralig'ida $\bar{u}_2$ bo'ylama tezlik kattaligi mavjud bo'ladi:

$$\bar{u}_1 = \bar{u}_2 = \bar{u}_3 = K = \bar{u} = \text{const} \quad (\text{vaqt bo'yicha}) \quad (4.63)$$

Bunday turbo'lent harakat *o'rtacha barqaror* yoki *barqaror harakat* deyiladi. Agar $\bar{u}_1 \neq \bar{u}_2 \neq \bar{u}_3 \neq \dots \neq \bar{u}$ bo'lsa, bunday harakat *beqaror harakat* deyiladi.

$d\omega$ elementar yuza orqali t vaqt oralig'ida oqib o'tgan suyuqlik hajmini dV deb belgilab olsak, barqaror harakatdagi o'rtacha tezlikni quyidagicha aniqlash mumkin

$$\bar{u} = \frac{dV}{td\omega} = \text{const} \quad (\text{vaqt bo'yicha}) \quad (4.64)$$

4.12, b-rasmni tahlil qilib, bo'ylama aktual tezlikni quyidagicha ifodalash mumkin:

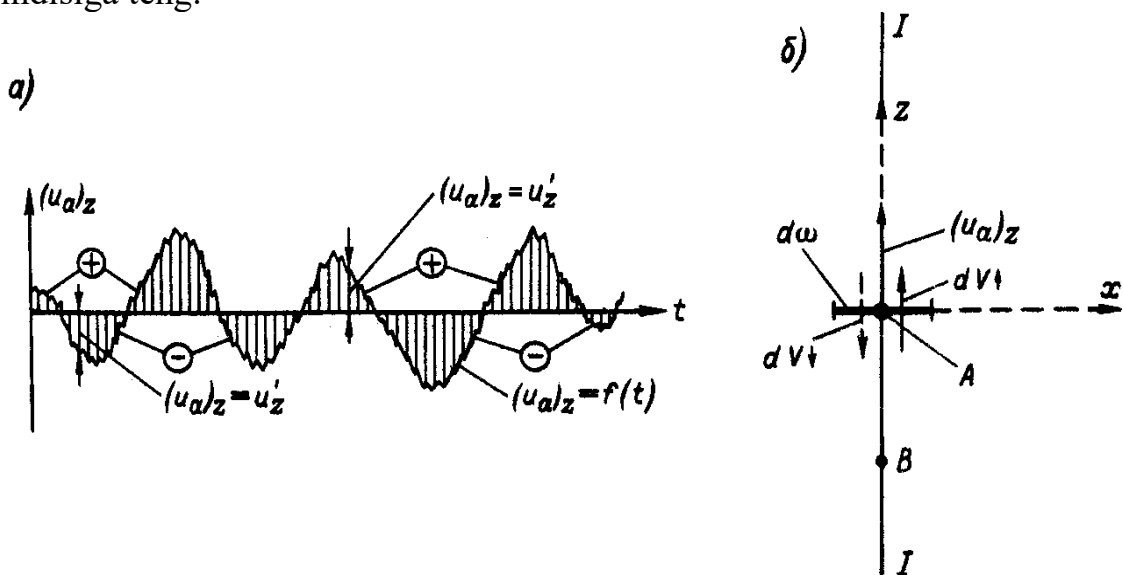
$$(u_a)_x = \bar{u} + u'_x \quad (4.65)$$

bunda, u'_x – bo'ylama *tebranma* (pulsatsion) tezlik yoki *qo'shimcha tebranma* tezlik deyiladi.

Katta vaqt oralig'i uchun

$$\sum u'_x dt = 0 \quad (4.66)$$

chunki, bu yig'indi 4.12, *b*-rasmida shtrix chiziqchalar bilan belgilangan yuzalar yig'indisiga teng.



4.13-rasm. Turbo'lent oqimning bo'ylama va ko'ndalang yo'nalishi

- a) A qo'zg'almas nuqtadagi ko'ndalang aktual tezlikning grafigi sxemasi;
b) dV hajmli suyuqlikning $d\omega$ elementar yuza orqali ko'ndalang almashinuvi

Umuman, aktual tezlikni ko'ndalang tashkil etuvchisi tebranishini qarayotganimizda (4.13-rasm) Oz o'qqa ortogonal bo'lgan $d\omega$ elementar yuzani nazarda tutishimiz kerak (4.13, *b*-rasm). Chunki, bu yuzadan o'tayotgan suyuqlik $(u_a)_z$ tezlikning vaqt o'zgarishi bilan kattaligi va yo'nalishining o'zgarishi hisobiga harakatda bo'ladi. Bu suyuqlikni t vaqt mobaynida $d\omega$ yuzadan yuqoriga o'tgan miqdorini $dV\uparrow$ deb olamiz.

$$dV\uparrow = dV\downarrow \quad (4.67)$$

bundan ko'rinib turibdiki, t vaqt mobaynida $d\omega$ yuza orqali o'tgan suyuqlik miqdori nolga teng.

$$dV = dV\uparrow - dV\downarrow = 0 \quad (4.68)$$

Demak,

$$\bar{u}_z = 0 \quad (4.69)$$

Bu ifodani nazarda tutib, quyidagini yozishimiz mumkin:

$$(u_a)_z = 0 + u'_z = u'_z \quad (4.70)$$

bunda, u'_z – ko'ndalang tebranma tezlik.

Demak, aktual tezlikning tebranma tashkil etuvchisi deganda, ko'ndalang tebranma tezlikni tushunamiz, ya'ni

$$\sum (u_a)_z dt = \sum u'_z dt = 0$$

Bosim tebranishi. O'rtacha oqim. (Reynolds-Bussinesk modeli)
.Tadqiqotlar natijasiga asoslanib shuni aytish mumkinki, tezlik tebranishi bosim tebranishi bilan davom etadi. Ya'ni vaqt o'zgarishi bilan bosim ham qarayotgan muhit nuqtalarida o'zgarib turadi.

Barqaror turbo‘lent oqim harakatini kuzatib, ixtiyoriy A nuqtadagi gidrodinamik bosimning turli vaqt oralig‘laridagi miqdorini quyidagicha yozish mumkin (4.11-rasm) :

$$\bar{p}_1 = \bar{p}_2 = \bar{p}_3 = \dots = \bar{p} \quad (4.71)$$

bunda, $\bar{p}_1 = \bar{p}_2 = \bar{p}_3 = \dots = \bar{p}$ – ketma-ket t_1, t_2, t_3, K vaqtlar oralig‘ida A nuqtadagi gidrodinamik bosimning o‘rtacha qiymati bo‘lib, *o‘rtacha mahalliy gidrodinamik bosim* deyiladi.

O.Reynolds (1895 y.) va J.Bussinesk (1897 y.) lar turbo‘lent oqimni hisoblash uchun faraziy model taklif etishgan bo‘lib, bu model *shunday shartli suyuqlik oqimidan iboratki, bunda harakatlanayotgan zarrachalar tezligi mahalliy bo‘ylama ($\bar{u}$) tezlikka teng bo‘lib, oqim mavjud bo‘lgan muxitning barcha nuqtalarida bosim o‘rtacha $\bar{p}$ mahalliy gidrodinamik bosimga teng bo‘ladi*. Bunday modellarda ko‘ndalang mahalliy tezliklar e‘tiborga olinmaydi, ya‘ni turbo‘lent ko‘chish qaralmaydi. Bu faraziy oqim *Reynolds-Bussinesk modeli* deb yuritiladi. Ushbu kattaliklar bilan o‘rganiladigan suyuqlik oqimi *turbo‘lent tartibda harakatlanayotgan o‘rtalashtirilgan suyuqlik oqimlari* deb yuritiladi. Bu harakat Reynolds tenglamalari sistemasi orqali ifodalanadi.

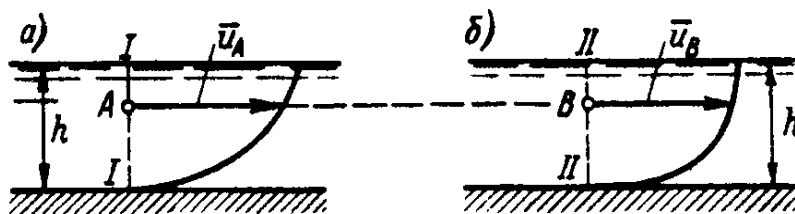
Reynolds-Bussinesk modeli qaralayotganda, agar suyuqlik oqimining baqaror harakatida qaralayotgan alohida olingan nuqtalarda ($\bar{u}$) kattalik vaqt davomida o‘zgarmasa, beqaror harakatda bu kattalik vaqt davomida bu kattalik o‘zgarishi kerak.

Demak, turbo‘lent oqimlarni hisoblashda Reynolds-Bussinesk modeliga asosan, $\bar{u}$ va $\bar{p}$ kattaliklar ishlatiladi. Masalan, turbo‘lent oqimlar uchun Bernulli tenglamasi yozilganda u va r kattaliklarni yozishda, asosan, shu o‘rtacha kattaliklar nazarda to‘tiladi. Tebranish intensivligini aniqlashda esa, α_s - tuzatma koeffitsientidan foydalaniladi. Shuni ta‘kidlash kerakki, turbo‘lent kuchini hisobga olmaslik napor kattaligiga ta’sir ko‘rsatadi. Bu haqda keyingi mavzularda batafsilroq to‘xtalamiz.

Suyuqlikning turbo‘lent harakatida o‘rtacha tezlik. Bu tushuncha bilan tanishganimizda, bitta asosiy tushunchani ajratib olishimiz kerak. Bu bir muxitning qo‘zg‘almas nuqtasidagi turli vaqt oralig‘idagi o‘rtalashtirilgan tezlik $\bar{u}$ va harakatdagi kesim bo‘ylab o‘rtacha tezlik u . Suyuqlikning laminar harakatida bu kattalik xaqiqiy (u) tezliklarning o‘rtalashtirilgan qiymatiga teng bo‘lsa, turbo‘lent harakat uchun bu kattalikni aniqlashda avval ko‘ndalang kesimning alohida nuqtalaridagi bo‘ylama tezliklarning o‘rtacha qiymati olinib, keyin bu kattaliklarning o‘rtacha qiymati olinadi.

Turbo‘lent oqim kinetik energiyasi. 4.14-rasmda ikkita bir xil prizmatik o‘zanlarni ifodalaymiz. Bu o‘zandagi oqimlarning Q sarfi, h chuqurligi va o‘rtacha tezligi bir xil ekanligi bilan ajralib turadi. *I-I* va *II-II* harakatdagi kesimlar bilan tanishamiz (4.14, *a* va *b*-rasm) . Garchand o‘xshash A va V nuqtalarda bo‘ylama $\bar{u}_A$ va $\bar{u}_B$ tezliklar teng bo‘lsada, $\bar{u}_A = \bar{u}_B$ tezliklar

tebranishi har xil bo'lishi mumkin. Bu kesimlarni o'zaro taqqoslab aytish mumkinki, o'rtacha tezliklar bir xil bo'lganligi

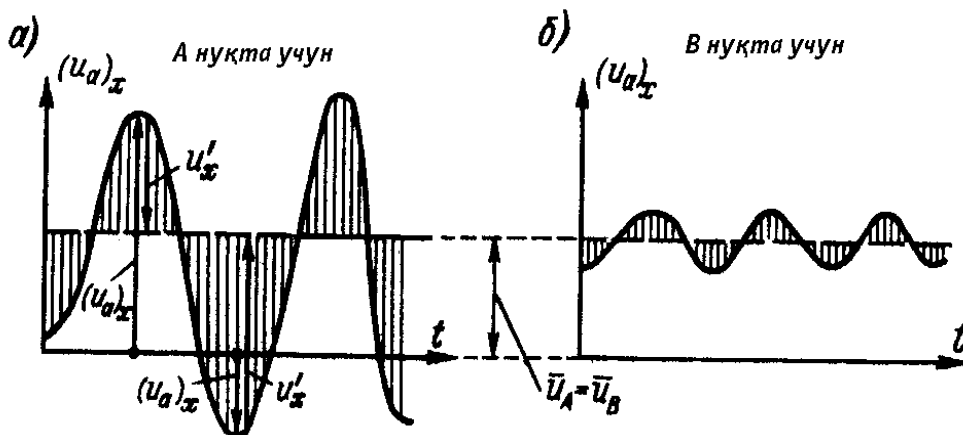


4.14-rasm. Har xil tezliklarda harakatlanuvchi oqimlarni taqqoslash

bilan birga, bu oqim har xil strukturaga ega bo'lishi mumkin. Bunda turbo'lentlik darajasi yuqori bo'lgan oqim, yuqori kinetik energiyaga ega bo'ladi. Bu turbo'lent oqimning kinetik energiyasi ikki qiymat yig'indisidan iborat (4.15-rasm) :

- a) $\bar{u}$ o'rtacha tezlikka asosan hisoblangan kinetik energiya;
- b) tebranma u tezliklar asosida hisoblangan kinetik energiya.

Laminar tartibdagi oqim uchun kinetik energiya $\frac{\alpha v^2}{2g}$ ko'rinishda ifodalanadi. Bunda, α – tuzatma koeffitsienti, harakatdagi kesim bo'ylab tezlik taqsimlanishini bir xil emasligini hisobga oladi.



4.15-rasm. 4.14-rasmdagi oqimning bo'ylama aktual tezlik tebranishi

Turbo'lent tartibda harakatlanayotgan oqim uchun $\frac{\alpha_c v^2}{2g}$ ifoda orqali ifodalanadi

$$\alpha_c = \alpha + \alpha_{\Pi} \quad (4.72)$$

bunda, α_p – ko'ndalang kesimning alohida nuqtalarida tebranma bo'lgan tezlikni hisobga oluvchi tuzatma koeffitsienti.

α_p tuzatma koeffitsient faqat oqimning notekis harakatida mavjud bo'ladigan intensiv turbo'lent oqimlarda hisobga olinadi.

Barqaror turbo'lent harakatda buni hisobga olmaslik mumkin. Xulosa qilib ta'kidlash kerakki, 4.14, a va b-rasmlardagi oqimlarda tezlik tebranishining har xilligi sababli, o'rtacha tezlik taqsimlanishi har xil bo'lib, epyurasi turli ko'rinishga ega bo'ladi.

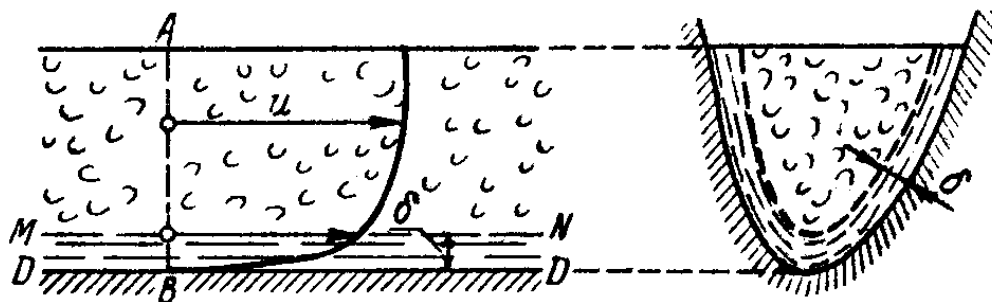
4.9. TEKIS BARQAROR HARAKATLANAYOTGAN TURBO‘LENT OQIMNING HARAKATDAGI KESIMIDAGI O‘RTACHA TEZLIKNING TAQSIMLANISHI. LAMINAR (YOPIHQOQ) QATLAM. SILLIQ VA G‘ADIR-BUDIR QUVURLAR. CHEGARAVIY QATLAM

Turbo‘lent tartibda harakatlanayotgan oqimning harakatdagi kesimi bo‘ylab o‘rtalashtirilgan tezlikning taqsimlanishi haqida umumiy mulohazalar. *Laminar qatlam.* 4.18-rasmdagi AV o‘rtalashtirilgan tezlik epyurasi bilan tanishamiz. Tajribalar natijasi uning quyidagilar bilan xarakterlanishini ko‘rsatdi:

- 1) AV chiziq bo‘ylab devor yaqinida u tezlik o‘sadi, ya‘ni du/dn gradient katta qiymatga ega bo‘ladi;
- 2) devordan uzoqroq masofada u kattalik nisbatan sekin o‘zgaradi, ya‘ni du/dn kattalik nisbatan kichik qiymatga ega bo‘ladi.

Rangli suyuqlik yordamida kuzatganda shunga ishonch hosil qilish mumkinki, suyuqlik oqim markazidan doimo yon qirg‘oqlarga va aksincha yon qirg‘oqdan markazga o‘tib, aralashib turar ekan. Shuning uchun turbo‘lent aralashish hisobiga oqimning turbo‘lent tartibdagi harakatida tezlik taqsimlanishi laminar tartibdagi harakatga nisbatan markaziy qismda tekis bo‘ladi.

Napor ostida laminar tartibda harakatlanayotgan suyuqlik oqimining o‘rtacha tezligining (v) quvur o‘qi bo‘ylab, oqimning (u_{maks}) maksimal tezligiga nisbati $v/u_{maks} = 0,5$ bo‘lsa, turbo‘lent tartibdagi harakatda $v/u_{maks} = 0,70 \div 0,90$ ekanligi isbotlangan. Bu munosabatni o‘zan devorining g‘adir-budirirligiga bog‘liqligini e‘tirof etgan holda uning Reynolds sonining o‘sishi bilan ortishini kuzatish mumkin.

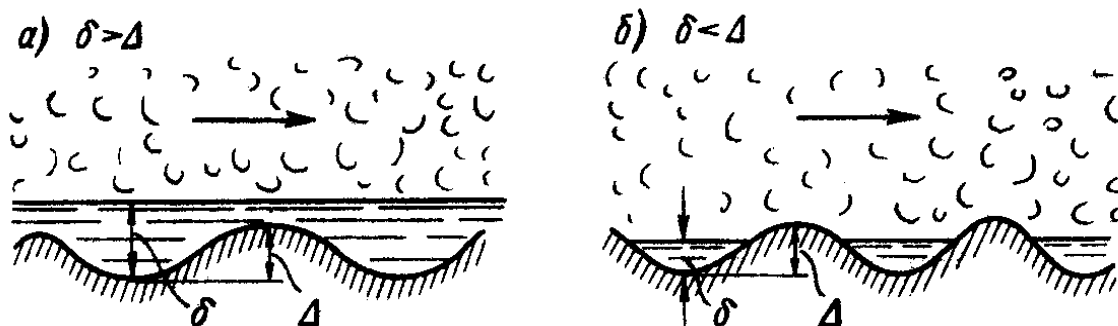


4.16-rasm. Turbo‘lent harakatda o‘rtalashtirilgan tezliklar epyurasi, δ – yopishqoqlaminar qatlam qalinligi.

L.Prandtl tadqiqotlari natijalari turbo‘lent tartibda harakatlanayotgan oqim zarrachalarining tezligi devor yaqinida nolga tengligini ko‘rsatdi. Shu natijaga asosan xulosa qilish mumkinki, tezlik devorga yaqinlashishi bilan kamayib borib, devor yaqinida shunday yupqa suyuqlik qatlami δ mavjud bo‘ladiki, bu qatlamda laminar tartibdagi harakat mavjud bo‘ladi. Bu qatlam gidravlikada laminar qatlam yoki yopishqoq qatlam deb yuritiladi. Bu laminar qatlam qalinligi δ taxminan chuqurlikning mingdan bir qismini tashkil qilib, u 4.16-rasmda masshtabsiz keltirilgan.

Gidravlik silliq va g‘adir-budir quvurlar. Bo‘lar 4.17-rasmda keltirilgan bo‘lib, bunda, Δ – devorning notekis qismi balandligi, δ – laminar qatlam qalinligi

(a) sxemadagi holatda ($\delta > \Delta$) g'adir-budirlik laminar qatlam bilan qoplanib, natijada silliq devor paydo bo'ladi. Bunday devorlarda uzunlik bo'ylab napor yo'qolishi o'zan devorining g'adir-budirligiga bog'liq emas. (b) sxema holatida esa, ($\delta < \Delta$) turbo'lent sohada notekisliklar alohida «tepalikchalar» ko'rinishida bo'lib, ularga oqim zarrachalari urilishi natijasida naporning yo'qolishi o'zan devori g'adir-budirligiga bog'liq bo'lib qoladi.



4.17-rasm. (a) silliq va (b) g'adir-budir o'zan.

Maxsus tadqiqotlar natijasida aniqlanishicha, Reynolds sonining o'sishi bilan laminar qatlam qalinligi kamayar ekan. Shunga asosan silliq va g'adir-budir quvurlar tushunchasi nisbiydir. Bir devorning o'zi ma'lum bir sharoitda silliq bo'lsa (Re – Reynolds sonining kichik qiymatlarida) boshqa bir sharoitda (Re – Reynolds sonining katta qiymatlarida) g'adir-budir bo'lishi mumkin.

Aylana quvurlarda napor ostida turbo'lent tartibda harakatlanayotgan suyuqlik oqimining o'rtacha tezligi epyurasini qurishda ishlatiladigan ifodalar.

Turbo'lent tartibda harakatlanayotgan oqimning harakatdagi kesimi bo'ylab tezlik taqsimlanishini o'rganishga juda ko'p nazariy va eksperimental ishlar bag'ishlangan. Shulardan tsilindrik shaklli quvurlarga oidlari bilan tanishamiz (4.8-rasmga qarang):

O'rtalashtirilgan tezliklar epyurasini ifodalovchi ASV egri chiziq tenglamasini yozish uchun laminar tartibdagi harakatdagi kabi, ikkita ko'rinishdagi urinma kuchlanish ifodasini yozamiz.

1) tekis harakat tenglamasi:

$$\tau_T = \gamma R' J \quad (4.73)$$

2) turbo'lent tartibdagi harakatdagi urinma kuchlanishlar tenglamasi:

$$\tau_T = -\eta_T \frac{du}{dn} \quad (4.74)$$

Bu tenglamani birgalikda yechamiz:

$$du = -\frac{1}{2} \frac{\gamma}{\eta_T} J r dr \quad (4.75)$$

Bu ifodani integrallab, quyidagi topamiz:

$$u = -\frac{1}{2} \gamma J \int_0^r \frac{1}{\eta_T} r dr \quad (4.76)$$

Tenglamaga kiruvchi η kattalik laminar tartibdagi harakatda o'zgaras bo'lganligi sababli integral belgisi ostidan chiqarilib, tenglama yengil yechilishi mumkin edi, lekin turbo'lent tartibdagi harakatda η_T kattalik oqimning harakat holatiga bog'liq bo'lganligi sababli, tenglamaning yechimini topish ancha murakkab masaladir. Bu tenglama L.Prandtl tomonidan ma'lum bir gipoteza va o'zgartirishlar kiritilib, taqribiy usulda yechilgan va tezlikning taqsimlanishi logarifmik qonuniyati olingan. Bunga keyingi mavzuda batafsil to'xtalamiz. Bundan tashqari, Karman, Teylor, A.N.Patrashev, X.Eshonov, T.Juraev va boshqa tadqiqotchilar ham bu tenglamani yechish bilan shug'ullanishgan.

1. I.Nikuradze tomonidan aniqlangan koeffitsientlar kiritilgandan so'ng Prandtl ifodasi quyidagi ko'rinishga ega:

A) tekis quvurlar uchun:

$$\frac{u}{v_*} = 5,75 \lg \frac{(r_0 - r)v_*}{\nu} + 5,5 \quad (4.77)$$

bunda, r_0 – quvur radiusi; r – u tezlik aniqlanayotgan nuqtadan harakatdagi kesim

markazigacha bo'lgan masofa; $v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ alohida belgilanish.

v_* – kattalik tezlik o'lchov birlikka ega bo'lib, *ishqalanish tezligi* yoki *dinamik tezlik* deb ataladi. Bu kattalik berilgan sharoit uchun doimiy bo'lib, oqimning tekis harakati asosiy tenglamasidan foydalanib aniqlanadi:

$$\frac{\tau_0}{\gamma} = \frac{\tau}{\rho g} = RJ \quad (4.78)$$

bundan,

$$g_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{RJ} \sqrt{g} \quad (4.79)$$

(4.80) tenglamaga asosan aniqlanuvchi tezlik epyurasiga ega bo'lsak, o'rtacha tezlik (v) va $\frac{v}{v_*}$ munosabatni aniqlash mumkin;

B) g'adir-budir quvurlar uchun:

$$\frac{u}{v_*} = 5,75 \lg \frac{r_0 - r}{\Delta} + A_{z.6} \quad (4.80)$$

Δ – g'adir-budirlik devorchalarining o'rtacha balandligi;

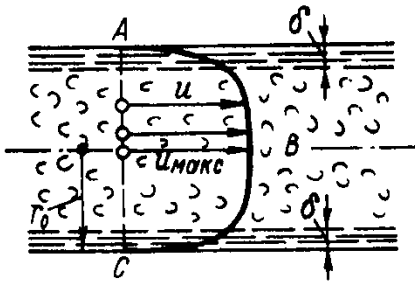
$A_{z.6}$ – kattaligi g'adir-budirlik ko'rinishiga bog'liq bo'lgan koeffitsient.

2. A.D.Altshul urinma kuchlanishlar yig'indisi (4.77) formuladan foydalanib, tekis va g'adir-budir quvurlar uchun tezlik taqsimlanishi formulasini taklif etgan:

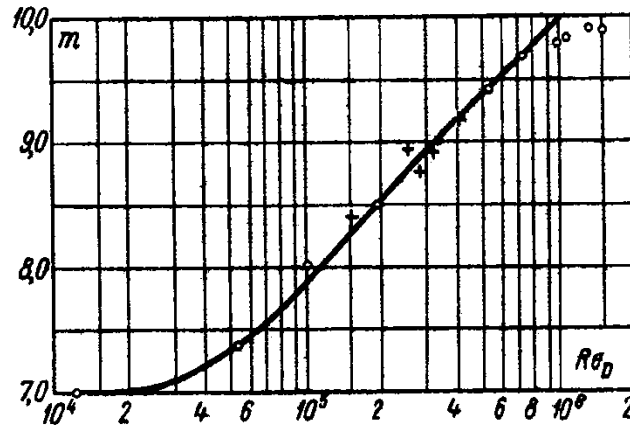
$$\frac{u}{u_{maks}} = 1 - 2 \frac{\lg \frac{r_0}{y}}{\frac{0,975}{\sqrt{\lambda}} + 1,35} \quad (4.81)$$

bunda, y – quvur devoridan u harakatlanayotgan qatlamgacha bo'lgan masofa; r_0 – quvur radiusi; u_{maks} – maksimal tezlik; λ – gidravlik ishqalanish koeffitsienti.

Yuqoridagi tenglamaga asosan olingan AVS egrilik o'ziga xos kamchiliklarga ega (4.18-rasm). Ular har doim ham chegaraviy shartlarni qanoatlantirmaydi. Bo'lar $r = r_0$ bo'lganda devor oldidagi suyuqlik tezligi, $u = -\infty$ bo'lishi va Prandtl ifodasiga asosan, tezlik gradienti $\frac{du}{dr} \neq 0$ bo'lishi xaqiqatga ziddir.



4.18-rasm. Oqimning aylana quvurlardagi harakatida tezlik taqsimlanishi.



4.19-rasm. (4.85) ifodadagi m kattalikni aniqlash uchun eksperimental grafik

Tezlik taqsimlanishining ifodalovchi formulalar amaliy ishlar uchun qulay ko'rsatkichli funktsiya ko'rinishdagi formulalardir:

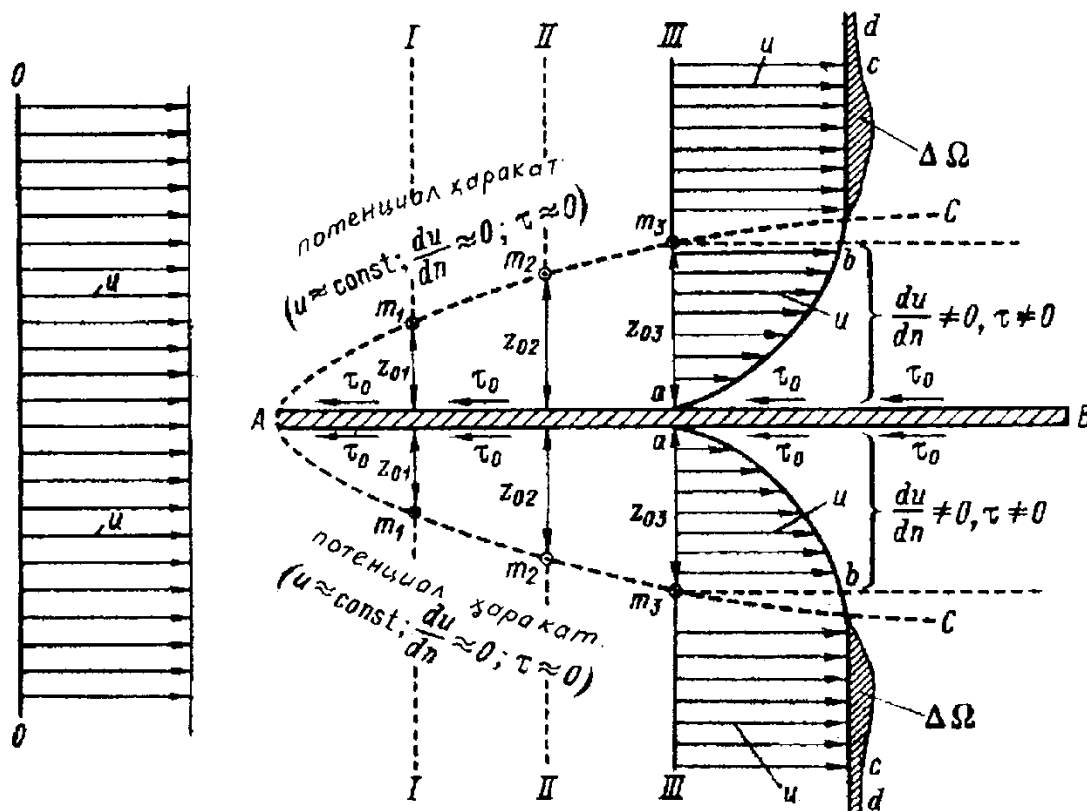
$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{r_0} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (4.82)$$

bunda, r_0 – quvur radiusi, r – harakatdagi kesim markazidanu tezlik o'lchanayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa, m – Reynolds soni (Re_D) ga bog'liq bo'lgan daraja ko'rsatkichi (4.20-rasm), $u_{\max}$ – quvur o'qi bo'ylaboqimning maksimal tezligi.

Bu ifodadagi $1/m$ kursatkichni quyidagi formula yordamida aniqlab, uni g'adir-budir quvurlar uchun qo'llash mumkinligini 1956 yil A.L.Altshul tomonidan isbotlangan:

$$\frac{1}{m} = 0,9\sqrt{\lambda} \quad (4.83)$$

Devor yaqinidagi chegaraviy qatlam. Faraz qilaylik uzun AV plastinka ustida real holatdagi suyuqlik harakatlanmoqda. (4.21-rasm). Uning 00 vertikal kesimida $u = \text{const}$ bo'lib, butun kesim bo'ylab o'zgarmasdir. Oqim bu plastinka ustida harakatlanayotganda unga ishqalanish kuchlanishi tasir ko'rsatadi, plastinka yuzasida tezlik nolga teng bo'ladi.



4.20-rasm. Devor yaqinidagi chegaraviy qatlam qalinligi z_0
(AV qo'zg'almas plastinka yaqinida paydo bo'ladi)

III-III kesim bilan tanishib, xulosa qilish mumkinki, AV plastinkaning sekinlashtiruvchi ta'siri natijasida u tezlik epyurasi ko'rinishi $abcd$ shaklida bo'ladi. z_{03} soha oralig'ida u tezlik epyurasi sezilarli ko'rinishda o'zgaradi (rasmdagi am_3 harakatdagi kesim qismi.) . Bu sohadan tashqarida u tezlik o'zgarishi nisbatan kamroq bo'ladi, shu sababli,

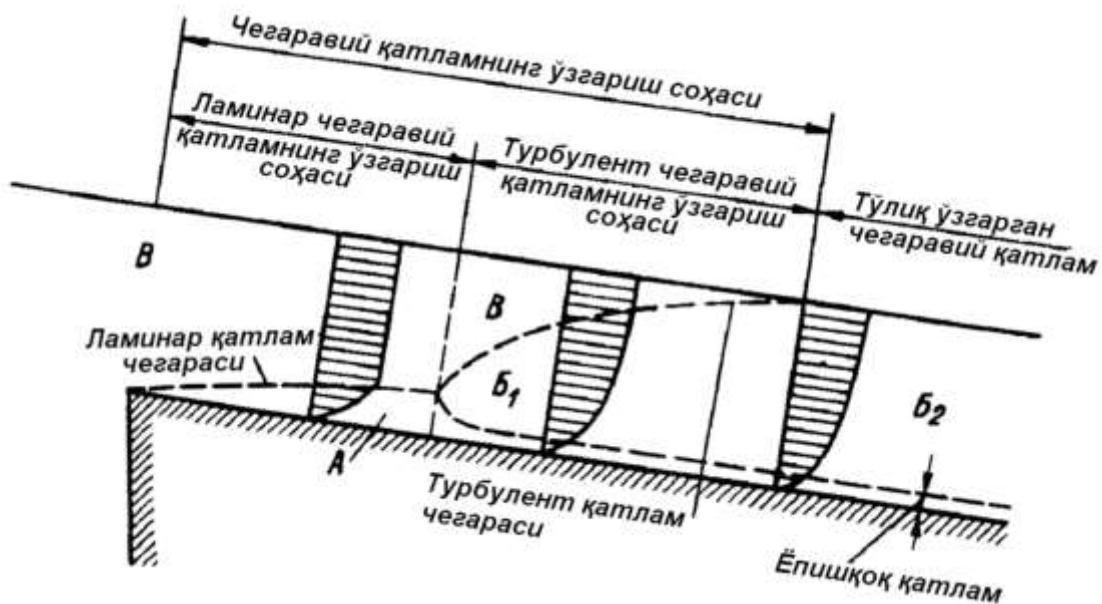
$$\frac{du}{dn} \approx 0 \text{ va } \tau \approx 0 \quad (4.84)$$

Xuddi shunday vaziyat boshqa kesimlarda ham ko'zatilishi mumkin:

$$z_{01} < z_{02} < z_{03} \Lambda \quad (4.85)$$

Yuqoridagiga asoslanib, quyidagilar bilan xarakterlanuvchi devor yaqinidagi AV suyuqlik qatlami sohasini belgilab olish mumkin.

1. z_0 – suyuqlik qatlami balandligi oqim bo'ylab o'sadi;
2. Qatlam ta'siri doirasida du/dn va τ kattaliklar noldan farq qiladi;
3. Bu qatlam chizig'idan tashqarida du/dn va τ kattaliklar sezilarli o'zgarmaganligi sababli, suyuqlik yopishqoqligini umumman inobatga olmasdan, uni ideal holatda deb qabul qilib, harakatni potentsial deb qarash mumkin. Shartli ravishda yuqoridagi uchta holatga mos keluvchi qatlamni «devor yaqinidagi chegaraviy qatlam» deb qabul qilamiz.



4.21-rasm. Kanal boshida devor yaqinidagi chegaraviy qatlamning o'zgarishi

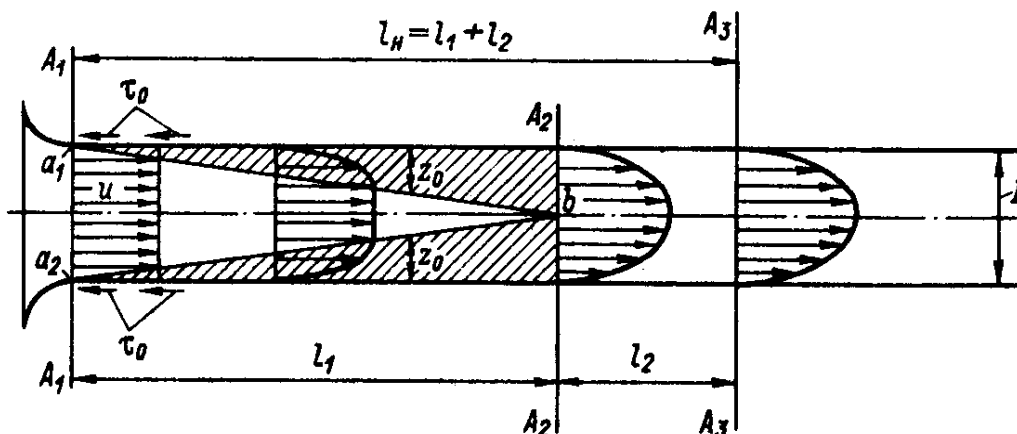
4.21-rasmda suyuqlikning suv havzasidan kanalga oqib tushishi tasvirlangan.

Naporli quvurlarda chegaraviy qatlam o'zgarishi.

Quvo'ring «boshlang'ich sohasi». Agar 4.22-rasmda ifodalanganidek kam to'siqli quvurga real suyuqlikning kirishini kuzatsak, A_1A_1 boshlang'iya sohada u tezlik epyurasi tekis ko'rinishda bo'ladi. Ma'lum bir l_1 masofadan keyin τ_0 ishqalanish kuchlanishining ta'sirida (A_2A_2 kesimgacha) chegaraviy qatlam z_0 balandligi orta boshlaydi. A_2A_2 kesimda (aniqrog'i b nuqtada) chegaraviy qatlam birlashishi amalga oshadi. l_1 yordamida belgilanmagan a_1-b-a_2 soha mavjud bo'lib, bu soha ichida suyuqlik potentsial harakatda bo'ladi, ya'ni sohada $u = \text{const}$. Lekin oqim bo'ylab tezlik oshadi.

4.22-rasmni tahlil qilib ko'rish mumkinki, chegaraviy qatlamdan tashqarida A_2A_2 va A_3A_3 kesimlar oralig'ida quyidagi xususiyatlarga ega bo'lgan yana bir bo'lak mavjud.

- A_2A_2 kesimdagi tezlik epyurasi tekis harakatga xos bo'lgan (A_3A_3 kesimdagi kabi) ko'rinishga ega bo'ladi;
- tezlik tebranishi ham tekis harakat kabi bo'ladi.



4.22-rasm. Naporli aylana shaklidagi quvur devori chqinidagi chegaraviy qatlam o'zgarishi
(chegaraviy qatlam shtrix chiziqlar bilan ko'rsatilgan)
 A_1 - A_2 vertikalning o'ng tomonida chegaraviy qatlam mavjud emas

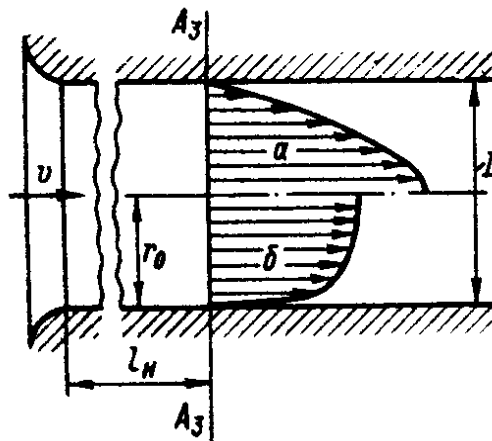
Quvurlar tizimida $l_H = l_1 + l_2$ uzunlikka ega bo'lgan masofa «boshlang'ich soha» deb ataladi. Bu sohada notekis harakat mavjud bo'ladi.

Bundan keyingi ifodalanadi-gan napor yo'qolishlarini aniqlovchi formulalar tekis harakatga ta'luqliligi sababli, ular bu sohada to'g'ri natija bermaydi.

Boshlang'ich soha uzunligini aylana quvurlar uchun tajriba natijalariga asoslanib, turbo'lent tartibdagi harakat uchun quyidagicha aniqlash mumkin:

$$l_H = (25 \div 50)D \quad (4.86)$$

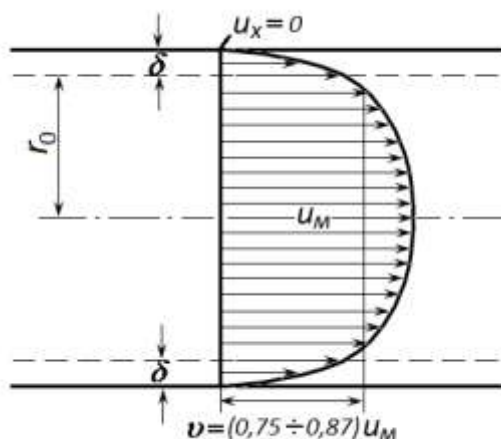
Bu rasmda oqimning turbo'lent va laminar tartibdagi harakatlarida tezlik taqsimlanishi epyurasi keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, devor yaqinidagi chegaraviy qatlamning eng katta qalinligi quvur diametrining yarmiga teng.



4.23-rasm. Boshlang'ich sohadagi tezlik taqsimlanishi. δ – chegaraviy qatlam

4.10. QUVURLARDA NAPOR OSTIDA TURBO'LENT TARTIBDA HARAKATLANAYOTGAN OQIMLAR UCHUN TEZLIK EPYURASI

Yuqoridagi mavzulardan bizga ma'lumki, oqimning turbo'lent tartibdagi harakatida, suyuqlik zarrachalarining aralashishi natijasida harakat miqdorining bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o'tishi hisobiga, harakatdagi kesimning turli nuqtalarida o'rtalashtirilgan tezlikning kattaliklari tenglashishi kuzatiladi. Bunday holatda turbo'lentlik qancha yuqori bo'lsa, shunga mos ravishda zarrachalarning bir qatlamdan ikkinchi qatlamga aralashuvi oshishi mumkin, demak tezlik epyurasi tekislana boshlaydi.



4.25-rasm

Tezlikning taqsimlanishi epyurasi yuqorida keltirilgan 4.24-rasmda tasvirlangan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, laminar qatlamda tezlik keskin o‘zgarib, devordan uzoqlashishi bilan sekin o‘zgarib boradi va quvo‘rning o‘qida o‘zining eng yuqori maksimal kattaligiga ega bo‘ladi. Agar laminar tartibdagi harakatda tezliklar o‘rtasidagi munosabat $(\nu/u_{\text{макс}}) = 0,5$ ekanligini e‘tirof etilgan edi, o‘lchash natijalari turbo‘lent tartibdagi harakat uchun bu munosabatni quyidagiga tengligini tasdiqlagan:

Reynolds sonining $Re = 2700$ qiymatida $\nu/u_{\text{макс}} = 0,75$, $Re = 10^6$ da $\nu/u_{\text{макс}} = 0,96$; $Re = 10^8$ da $\nu/u_{\text{макс}} = 0,90$ bo‘lib, turbo‘lentlikning oshishi bu munosabatning birga yaqinlashishini ko‘rsatdi. Reynolds sonining cheksiz katta qiymatlarida tezlik epyurasi xuddi $(\mu = 0; Re = \infty)$ ideal suyuqliklarning tezlik epyurasi kabi tekis bo‘ladi.

4.11. QUVURLARDA NAPOR OSTIDA TURBO‘LENT TARTIBDA HARAKATLANAYOTGAN OQIMLAR UCHUN MAHALLIY VA MAKSIMAL TEZLIKLAR ORASIDAGI BOG‘LIQLIK

Bu bog‘liqlikni aniqlash uchun tezlik taqsimlanishining logarifmik qonuniyatini quvur devoridan ymasofada va quvur o‘qida joylashgan nuqtalar uchun yozamiz, ikkinchi nuqtada $u = u_{\text{макс}}$.

Bundan,

$$\frac{u_{\text{макс}} - u}{u_*} = \frac{1}{\aleph} \ln \frac{r_0}{y} \quad (4.87)$$

Natural logarifmdan o‘nli logarifmga o‘tamiz:

$$\frac{u_{\text{макс}} - u}{u_*} = \frac{2,3}{\aleph} \lg \frac{r_0}{y} = A' \lg \frac{r_0}{y}$$

bunda, $A' = \frac{2,3}{\aleph}$ (agar $\aleph \approx 0,4$ bo‘lsa, $A' = 5,75$).

$\frac{u_{\text{макс}} - u}{u_*}$ kattalik mahalliy tezlikning nisbiy yetishmayotgan kattaligi deb yuritiladi. Endi o‘rtacha tezlikning nisbiy yetishmayotgan kattaligini aniqlaymiz:

$$\frac{u_{\text{макс}} - \bar{u}}{u_*}$$

Oqimning uzluksizlik tenglamasiga asosan:

$$\bar{u} = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{\pi r_0^2}$$

Shunga asosan:

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = \int_0^{r_0} u \cdot 2\pi(r_0 - y) dy$$

Bu ifodaga o‘rtalashtirilgan tezlik kattaligini qo‘ysak,

$$u = u_{\text{макс}} - \frac{u_*}{\aleph} \ln \frac{r_0}{y}$$

Sarfni yozamiz;

$$Q = 2\pi \int_0^{r_0} \left(u_{\text{макс}} - \frac{u_*}{\aleph} \ln \frac{r_0}{y} \right) (r_0 - y) dy = \pi r_0^2 \left(u_{\text{макс}} - \frac{3}{2\aleph} u_* \right)$$

O'rtacha tezlik esa:

$$v = \frac{Q}{\pi r_0^2} = u_{\text{макс}} - \frac{2}{3\aleph} u_*$$

$\frac{2}{3\aleph} = D$ Prandtl kattaligi deb atalib, $\aleph = 0,40$ bo'lganda, $D = 3,75$ ga teng bo'ladi. Nikuradze tajribalariga asosan, $\aleph = 0,368$ bo'lganda, $D = 4,05$ ga teng bo'lganligi e'tirof etilgan.

Natijada quyidagigi ega bo'lamiz:

O'rtacha tezlikning nisbiy yetishmayotgan kattaligini

$$\frac{u_{\text{макс}} - v}{u_*} = D$$

$$v = u_{\text{макс}} - Du_* \quad (4.88)$$

Nisbiy maksimal tezlikni aniqlaymiz:

$$\frac{u_{\text{макс}}}{u_*} = \frac{v}{u_*} + D = \sqrt{\frac{8}{\lambda}} + D$$

Mahalliy tezlikning o'rtacha tezikka yetishmayotgan miqdorini aniqlaymiz:

$$\frac{v - u}{u_*}$$

Buning uchun maksimal tezlik kattaligini (4.87) ifodadan (4.88) ifodaga qo'yamiz:

$$\frac{v - u}{u_*} = \frac{1}{\aleph} \ln \frac{r_0}{y} - D = A' \lg \frac{r_0}{y} - D$$

yoki

$$\frac{v}{u_*} \left(1 - \frac{u}{v} \right) = \frac{2,3}{\aleph} \lg \frac{r_0}{y} - D$$

bundan,

$$\frac{v}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}}$$

demak,

$$\frac{u}{v} = 1 + \frac{1}{\sqrt{8}} \left(D - \frac{1}{\aleph} \ln \frac{r_0}{y} \right) = \sqrt{\lambda}$$

yoki

$$\frac{u}{v} = 1 + \frac{1}{\sqrt{8}} \left(D - A' \lg \frac{r_0}{y} \right) = \sqrt{\lambda}$$

Shunday qilib, ($D = 3,75, \aleph = 0,40$) holat uchun tezliklar o'rtasidagi quyidagi munosabatlarni yozishimiz mumkin:

$$\frac{u_{\max} - v}{u_*} = 3,75$$

$$\frac{v}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}}$$

$$\frac{u_{\max}}{u_*} = 3,75 + \sqrt{\frac{8}{\lambda}}$$

$$\frac{u_{\max}}{v} = 1 + 1,33\sqrt{\lambda}$$

$$\frac{u_{\max} - u}{u_*} = 5,75 \lg \frac{r_0}{y}$$

$$\frac{v - u}{u_*} = 5,75 \lg \frac{r_0}{y} - 3,75$$

$$\frac{u}{v} = 1 + \left(1,33 - 2,03 \lg \frac{r_0}{y} \right) \sqrt{\lambda}$$

Professor I.I. Agroskin xulosasiga asosan:

1. O'rtacha tezlikning yetishmayotgan kattaligi doimiy o'zgarmas kattalikka ega;
2. $\frac{v}{u_*}, \frac{u_{\max}}{u_*}, \frac{u_{\max}}{v}$ kattaliklar λ Darsi koeffitsienti kattaligiga bog'liq;
3. Mahalliy, maksimal, o'rtacha tezliklarning yetishmayotgan miqdorlari faqat quvur devoridan qaralayotgan nuqttagacha bo'lgan nisbiy masofaga bog'liq;
4. Mahalliy va o'rtacha tezliklar nisbati u/v quvur devoridan qaralayotgan nuqttagacha bo'lgan nisbiy masofaga va qarshilik xarakteriga bog'liq.

Bundan tashqari, quvurda harakatlanayotgan oqimning mahalliy va o'rtacha tezliklari o'zaro teng bo'lgan nuqta (y_v) uchun $u/v = 1$ quyidagi munosabat o'rinlidir:

$$1,33 - 2,03 \lg \frac{r_0}{y_v} = 0$$

shuning uchun

$$y_v = 0,223 r_0.$$

Biz yuqorida yuritgan mulohazalarimiz, suyuqlikning aylana shakldagi quvurlardagi harakatiga tegishli edi. Lekin, ko'pgina tadqiqotchilar bu tezliklar epyurasi suyuqlik oqimining ochiq o'zanlardagi harakati uchun ham o'rinli ekanligini isbotlashgan.

Professor G.V. Jeleznyakov tomonidan ochiq o'zanlar uchun $\aleph = 0,54$ bo'lib, o'rtacha tezlikning yetishmayotgan miqdori – D o'zgaruvchan kattalik bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$D = \frac{1}{\aleph} + \frac{C}{C_0}$$

bunda, $C_0 = 9,1 \frac{M^{0,5}}{cek}.$

4.12. KORIOLIS α VA BUSSINESK α_0 KOEFFITSIENTLARINING OQIMNING TURBO‘LENT TARTIBDAGI HARAKATI UCHUN KATTALIKLARI

Bu kattaliklarni aniqlanish formulalari bizga ma'lum:

$$\alpha = \frac{1}{\omega} \int \left(\frac{u}{v} \right)^3 d\omega$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{\omega} \int \left(\frac{u}{v} \right)^2 d\omega$$

bunda, $\frac{u}{v}$ nisbat ma'lum bo'lsa, ularni yechish mumkin:

$$\frac{u}{v} = 1 + \left(D - \frac{1}{\aleph} \ln \frac{r_0}{y} \right) \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{8}} = N_1 \ln y + N_2$$

bunda, $N_1 = \frac{0,354}{\aleph} \sqrt{\lambda}$ va $N_2 = 1 + \left(0,354D - \frac{0,354}{\aleph} \ln r_0 \right) \sqrt{\lambda}$.

Bu kattaliklarni yuqoridagi ifodalarga qo'yib, ularni integrallab, quyidagilarni qabul qilib, $d\omega = 2\pi(r_0 - y)dy$, chegaraviy qiymatlarni qabul qilamiz: $y = r_0$ dan $y = 0$.

$$\alpha = \frac{2}{r_0} \int_{r_0}^0 (N_1 \ln y + N_2)^3 (r_0 - y) dy =$$

$$= 1 + 0,38 \left[\left(D - \frac{1,5}{\aleph} \right)^2 + \frac{1,25}{\aleph} \right] \lambda + 0,044 \left[\left(D - \frac{1,5}{\aleph} \right)^3 + \frac{3,75D}{\aleph^2} - \frac{7,78}{\aleph^3} \right] \lambda^{1,5}$$

yoki $\aleph = 0,40, D = 3,75$ uchun $\alpha = 1 + 2,94\lambda - 1,55\lambda^{1,5}$

$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}, \frac{M^{0,5}}{cek}$ munosabatni hisobga olib,

$$\alpha = 1 + \left(\frac{15}{C} \right)^2 - \left(\frac{4,7}{C} \right)^3$$

$$\alpha_0 = \frac{2}{r_0} \int_{r_0}^0 (N_1 \ln y + N_2)^2 (r_0 - y) dy =$$

$$= 1 + 0,125 \left[\left(D - \frac{1,5}{\aleph} \right)^2 + \frac{1,25}{\aleph^2} \right] \lambda + 0,708 \left(D - \frac{1,5}{\aleph} \right) \sqrt{\lambda}$$

yoki $\aleph = 0,40, D = 3,75$ uchun $\alpha_0 = 1 + 0,979\lambda \approx 1 + \lambda$

Shezi koefitsientini uning o'lchov birligida ifodalaymiz: $(M^{0,5}/C)$

$$\alpha_0 = 1 + \left(\frac{8,86}{C} \right)^2$$

III. SUYUQLIK OQIMINING TURBO‘LENT TARTIBDAGI TEKIS BARQAROR HARAkatIDA NAPOR YO‘QOLISHI

4.13. DARSİ VEYSBAX FORMULASI λ GIDRAVLİK ISHQALANISH (DARSİ) Koeffitsienti

Ko‘pchilik tadqiqotchilar tomonidan o‘tkazilgan tajribalar τ_0/γ nisbat kattaligini tezlik nabori orqali ifodalash muminligini ko‘rsatdi. Yuqoridagi mavzularda akademik N.N.Pavlovskiy tomonidan oqimning tekis harakati tenglamasi keltirib chiqarilishi bilan tanishgan edik:

$$\frac{\tau_0}{\gamma} = \frac{\lambda}{4} \frac{v^2}{2g} \quad (4.89)$$

bunda, $\lambda/4$ – emperik proportionsionallik koeffitsienti. (4.89) va (4.15) ifodalarni birgalikda yozib, quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$RJ = \frac{\lambda}{4} \frac{v^2}{2g} \quad (4.90)$$

bunda, $J = h_l/l$ munosabatni inobatga olgan holda,

$$h_l = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (4.91)$$

bunda, l – napor yo‘qolishi o‘rganilayotgan o‘zan uzunligi; R – gidravlik radius.

Aylana shaklidagi naporli quvurlar uchun bu tenglama quyidagi ko‘rinishga ega:

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (4.92)$$

Tenglama *Darsi-Veysbax formulasideb* atalishi bizga malum.

O‘lchov birligi bo‘lmagan λ koeffitsienti esa gidravlik ishqalanish yoki Darsi koeffitsienti deb atalishini yuqoridagi mavzularda e‘tirof etgan edik.

Bu koeffitsientni tadqiqotchilar dastlab, doimiy kattalik deb qabul qilishgan bo‘lishsa, keyinchalik oqimning o‘rtacha tezligiga va o‘zan devori g‘adir-budirligiga bog‘liq deb qarashgan. Hozirgi davrda amaliy hisoblarda bu kattalikni aniqlashda o‘zanning g‘adir-budirligiga va Reynolds soniga bog‘liq bo‘lgan formulalardan foydalaniladi.

Harakatdagi kesim bo‘ylab tezlik taqsimlanishi qonunini bilgan holda, turbo‘lent tartibdagi oqim harakati uchun λ kattalikni aniqlash mumkin:

$$\lambda = \frac{h_l}{l} D \frac{2g}{v^2} = J \frac{D}{4} g \frac{8}{v^2} \quad (4.93)$$

bunda

$$\lambda = RJg \frac{8}{v^2} = 8 \frac{v_*^2}{v^2} \quad (4.94)$$

Ya‘ni,

$$\frac{v}{v_*} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}} \quad (4.95)$$

Binobarin,

$$\lambda = \frac{8\nu^2}{v_*^2} \quad (4.96)$$

1932 yilda L.Prandtl silliq quvurlar uchun quyidagi formula yordamida Darsi koeffitsientini aniqlashni taklif etgan:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(\text{Re}_D \sqrt{\lambda}) - 0,8 \quad (4.97)$$

1913 yilda esa, O.Reynolds sonining 4000÷100000 oraliqdagi qiymatlari uchun λ koeffitsientni aniqlashning quyidagi ko'rinishdagi formulasini Blazius taklif etgan:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}_D^{0.25}} \quad (4.98)$$

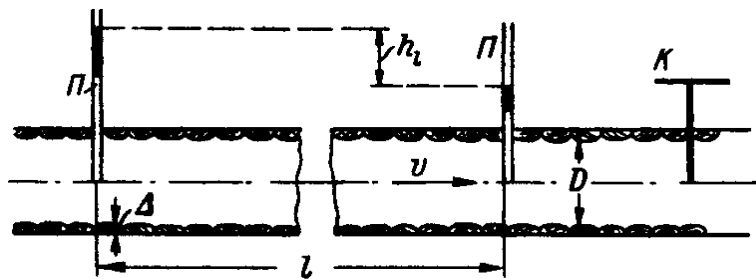
Bu formula *Blazius formulasi* deyiladi.

G'adir-budir quvurlar uchun Darsi koeffitsientining kattaligini aniqlash bilan juda ko'p tadqiqotchilar shug'ullanishgan. Shulardan hozirgi davrda amaliyotda ko'p qo'llanilayotganlardan bilan tanishamiz.

4.14. NAPOR YO'QOLISHI MASALASINI UMUMLASHTIRISH. DARSİ-GIDRAVLİK ISHQALANISH KOFFITSİENTİNİNG BOSHQA PARAMETRLARGA BOG'LIQLIGI. NIKURADZE TADQIQOTLARI

I.Nikuradze 1933 yilda maxsus tadqiqotlar o'tkazish uchun, 4.26-rasmda keltirilgan qurilmadan foydalangan.

D diametrli quvurga K va bir biridan l masofada joylashgan ikkita pzometr (P) o'rnatilgan. K kran yordamida oqimning tezliklari o'zgartirilib, tezlikning turli qiymatlari uchun napor



4.26-rasm. Nikuradze tadqiqotlari o'tkazilgan qurilma sxemasi

yo'qolishi (h_l)ni pzometrlar yordamida aniqlash mumkin.

Tajribada h_l , v , ν kattaliklarni aniqlab,

$$\lambda = \frac{h_l}{l} 2g \frac{D^3}{v^2} \frac{1}{\text{Re}_D^2}$$

formula yordamida $\lambda = f(\text{Re}_D)$ grafisini tuzish orqali λ kattaligini aniqlash imkoniyatiga ega bo'lamiz. I.Nikuradze bir xil kattalikdagi qum zarrachalarini bir xil masofada quvur devorlariga yopishtirib, bir tekis taqsimlangan sun'iy g'adir-budirlik yaratgan. Bunday quvurda naporliharakat davomida λ va Re_D kattaliklar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik grafisini qurdi. Bu grafikdagi har bir qurilgan egri chiziq nisbiy g'adir-budirlik (Δ_r) deb ataluvchi kattalikka mos keladi:

$$\Delta_r = \frac{\Delta}{D} \quad (4.99)$$

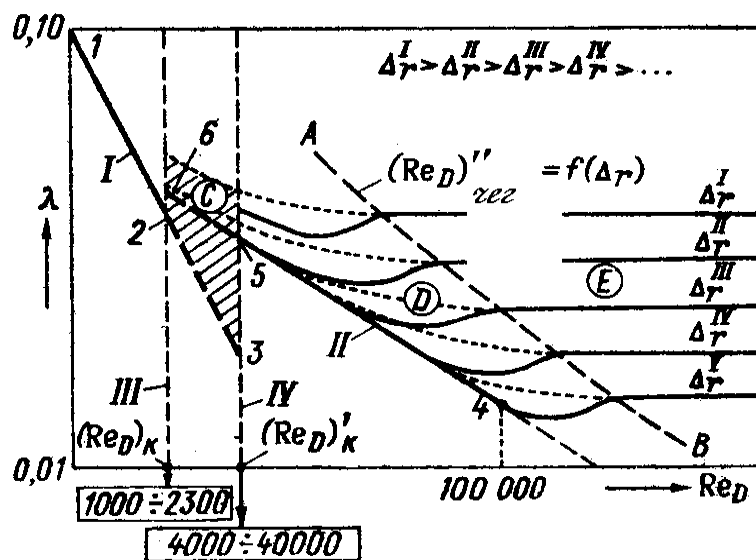
Quyidagi 4.27-rasmda ifodalangan grafik siqilmas suyuqlikning aylana quvurda tekis barqaror harakati uchun napor yo‘qolishi haqidagi masalani umumlashtirish imkonini beradi.

- 1) (4.91) va (4.92) ifodalar tarkibiga kiruvchi λ ko'effitsient umumiy hollarda faqat Δ_r va Re_D kattaliklarga bog'liq;
- 2) λ – ko'effitsient faqat Δ_r yoki Re_D kattaliklardan biriga faqat harakatning ayrim hususiy ko'rinishlaridagina bog'liq;
- 3) shunday sohalar mavjudki, ular uchun Δ_r va Re_D kattaliklarning

$$h_l \mathrel{\mathop{:}} \nu^m \quad (4.100)$$

4.27-rasmdagi Nikuradze grafigini tahlil qilib, quyidagi xulosalarni olish mumkin:

II-chiziq – Blazius formulasiga asosan chizilganligi sababli, *Blazius chizig'i* deb yuritiladi.



4.27-rasm. Nikuradze grafigi sxemasi.

(Δ_r kattalikning turli qiymatlari uchun $\lambda = f(\text{Re}_D)$ egriliklari)

I – laminar tartibdagi sohaning; S- o‘tish sohasi;
 II – turbo‘lent tartibdagi sohaning silliq o‘zanlar qismi;
 D – turbo‘lent sohaning g‘adir-budir o‘zanlar uchun kvadrat qarshiliklargacha bo‘lgan qismi;
 E – turbo‘lent sohaning g‘adir-budir o‘zanlar uchun kvadrat qarshiliklar mavjud bo‘lgan qismi.

Bu grafikda ma'lum bir masshtabda gorizontal yo'nalishda $\lg Re_D$ va vertikal yo'nalishda $\lg \lambda$ kattaliklar qo'yilgan, I va II tayanch chiziqlarni ma'lum ko'rsatichli funktsiya bilan ifodalanuvchi chiziq sifatida qabul qilish mumkin. Bunda grafik o'qlariga λ va Re_D kattaliklarning logarifmik qiymatlari emas, balki o'z qiymatlari qo'yiladi.

Bu grafikni uchta sohaga bo'lish mumkin:

Birinchi soha– *laminar tartib sohasi*; chiziqning 1-2 qismi bilan ifodalangan bo'lib, bu chiziq (4.60) formula yordamida quriladi. Bunda turli nisbiy g'adir-budirliklar uchun Δ_r uchun tajriba natijalariga asosan olingan $\lambda = f(Re_D)$, egriliklar 1-2 chiziq bilan birlashib ketadi.

Bu soha uchun quyidagi holatlar mavjuddir:

a) Re_D kattalik nisbatan kichik, ya'ni $(Re_D)=1000\div 2300$ gacha bo'lgan qiymatdadir;

b) h_l naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi g'adir-budirlikka bog'liq emas, chunki $\lambda = f(Re_D)$ grafigi g'adir-budirlikning turli qiymatlari uchun birlashib ketadi;

v) napor yo'qolishi oqimning o'rtacha tezligining birinchi darajasiga to'g'ri proporsionaldir. Bu fikrni Darsi-Veysbax va Puazeyl formulalaridan kelib chiqib, daraja ko'rsatkichi $m=1$ qiymatga teng bo'lishiga ishonch hosil qilish mumkin;

g) gidravlik ishqalanish koeffitsienti Puazeyl (4.60) formulasi bilan aniqlanadi.

Ikkinchi soha – III va IV vertikal oraliq'idagi soha bo'lib, bu sohada oqimning harakat tartibi o'zgarib turadi. Oqim goh laminar tartibdagi harakatdan turbo'lent tartibdagi harakatga, goh turbo'lent tartibdan laminar tartibdagi harakatga o'zgarib turadi. Shu sababli, o'zgaruvchi yoki *o'tish sohasi* (rasmda shtrixlangan) deb yuritiladi. Bu sohada:

a) Reynolds soni $1000\div 2300$ dan $4000\div 40000$ qiymatlarda o'zgaradi;

b) suyuqlik quvurda harakatlenganda, ma'lum oraliqda paydo bo'lib, yo'qolib turuvchi turbo'lent tartibdagi harakat kuzatiladi;

Bunday o'zgaruvchan xarakterdagi harakat sohasi *aralash turbo'lentlik sohasi* deyiladi.

Uchinchi soha– *turbo'lent tartib sohasi*. Bu soha IV vertikal chiziqning o'ng tomonida joylashgan bo'lib, bu sohada Reynolds soni quyidagi kattaliklarga teng bo'ladi: $Re_D \approx 4000 \div 40000$. Bu soha o'z navbatida uchta qismga bo'linadi:

birinchi qism – «*silliq o'zanlar qismi*». Bu qismda Reynolds sonining $Re_D < 100000$ qiymatda II to'g'ri chiziq shaklida bo'lib, $Re_D > 100000$ qiymatda II chiziq davomi bo'lgan egri chiziq ko'rinishida bo'ladi. Bu qism uchun quyidagilarga ega bo'lamiz:

a) h_l napor $Re_D = 100000$ qiymat oralig'ida ν tezlikning 1,75 darajasiga to'g'ri proporsionaldir;

b) $\Delta_r = const$ egriliklar bir chiziqqa birlashishiga asoslanib, h_l napor yo'qolishini g'adir-budirlikka bog'liq emasligini e'tirof etish mumkin;

v) h_l va λ kattaliklar Blazius va Prandtl formulalariga asosan Reynoldssoniga funktsional bog'liq:

$$\lambda = f(\text{Re}_D) \quad (4.101)$$

Ikkinchi qism – «g‘adir-budir o‘zanlar uchun kvadrat qarshilikkacha bo‘lgan qismi». Bu qism II vertikal va AB chiziqlar orasida joylashgan bo‘lib, bu qismda gidravlik qarshilik λ va napor yo‘qolishi h_l Reynolds soni Re_D va nisbiy g‘adir-budirlik (Δ_r) ga bog‘liq bo‘ladi:

$$\lambda = f(\text{Re}_D, \Delta_r) \quad (4.102)$$

Uchinchi qism – «g‘adir-budir o‘zanlar uchun kvadrat qarshiliklar mavjud bo‘lgan qism». Bu qism AV chiziqning o‘ng tomonida joylashgan. Bu qism quyidagilar bilan xarakterlanadi:

- 1) Napor yo‘qolishi oqim o‘rtacha (v) tezligi kvadratiga to‘g‘ri proportsionaldir ($m = 2$);
- 2) Darsi koeffitsienti λ Reynolds soniga bog‘liq emas (barcha chiziqlar gorizontal tekislikka parallel holatda joylashgan);
- 3) h_l va λ – kattaliklar nisbiy g‘adir-budirlikka bog‘liq.

$$\lambda = f(\Delta_r) \quad (4.103)$$

Shuni ta’kidlash mumkinki, Nikuradze tomonidan aylana quvurlarda napor ostida harakatlanayotgan oqimlar uchun olingan bog‘liqliklarni naporsiz va napor ostidagi oqimlar uchun ham qo‘llash mumkin. Nikuradze grafiği tahliliga asosan shuni aytish mumkinki, gidravlik hisoblarda suyuqlik turiga e‘tibor bermaslik mumkin (neft, suv, yog‘ va boshq.) . Faqat bu suyuqliklarning harakati Reynolds sonining ma’lum bir o‘lchov birliksiz kattaliklariga mos kelib, u suyuqlikning fizik xarakteristikasi yopishqoqlik koeffitsienti (ν, μ) va zichlikka (ρ) bog‘liq bo‘ladi.

4.15. TURLI (PO‘LAT, CHO‘YAN, SHISHA, PLASTIK, GOFRA) MATERIALLARIDAN TAYYORLANGAN AYLANA VA TO‘G‘RI TO‘RTBURCHAK SHAKLIDAGI NAPORLI QUVURLARDA DARSİ KOEFFITSIENTI (λ) NI ANIQLASHNING AMALIY USULLARI

Quvurlarning devorlaridagi g‘adir-budirlikni tashkil qiluvchi tepalikchalarning har xil balandlikka ega bo‘lishi va o‘zaro turli masofalarda joylashishiga qarab, ikki xil g‘adir-budirlik mavjud bo‘ladi deb qaraladi:

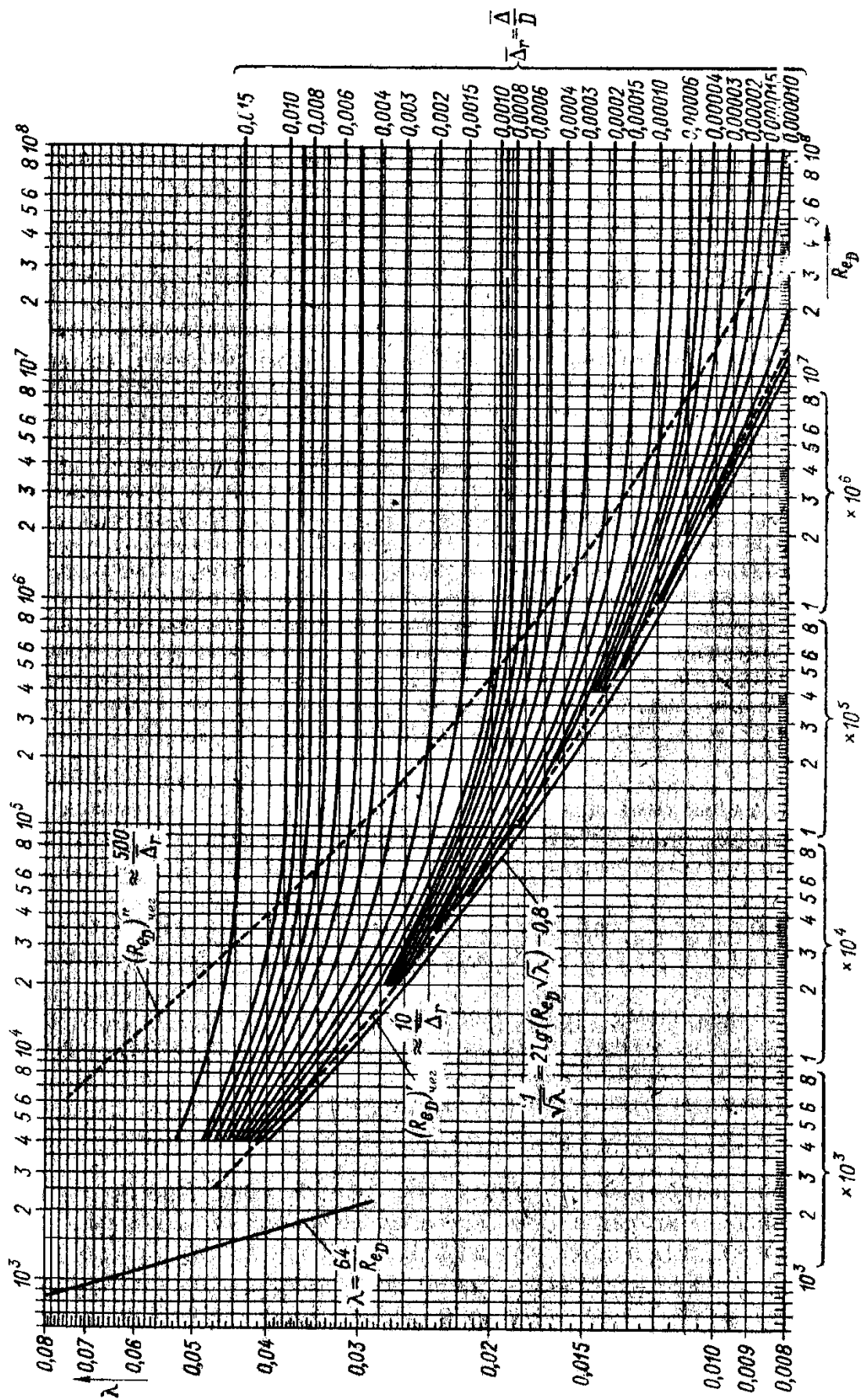
- tekis g‘adir-budirlik;
- notekis g‘adir-budirlik.

Aksariyat hollarda, amaliyotda notekis g‘adir-budirlik uchraganligi sababli, quyida shunday quvurlarning gidravlik hisobi bilan tanishamiz:

1^o. Naporli texnik (turli o‘lchamli) g‘adir-budirquvurlar. Bunday quvurlar uchun Kolbruk 1938 yilda o‘z tadqiqotlari natijalariga asoslanib, gidravlik ishqalanish – Darsi koeffitsientini aniqlash uchun quyidagi ifodani taklif etgan:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,5}{\text{Re}_D} \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + \frac{\bar{\Delta}_r}{3,7} \right) \quad (4.104)$$

bunda, $\bar{\Delta}_r$ – nisbiy g‘adir-budirlik: $\bar{\Delta}_r = \Delta/D$.



4.28-расм. λ - гидравлик ишқаланиш коэффициентини аниқлаш учун Кольбрук графиги
(айлана ва баъзи бир тўғрибуррчакли босимли қувурлар учун)

Bu formula asosida, 4.28-rasmda keltirilgan grafik qurilgan. Bu grafik yordamida turbo‘lent sohaning barcha uch qismi uchun Darsi ko‘effitsientini aniqlash mumkin.

G‘adir-budir quvurlarda turbo‘lent soha kvadrat qarshiliklar qismi uchun formula soddalashib, Prandtl formulasi ko‘rinishini oladi:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left(\lg \frac{\bar{\Delta}_r}{3,7} \right)^2} \quad (4.105)$$

$\bar{\Delta}$ kattalik – g‘adir-budirlikni tashkil qiluvchi tepalikchalarning o‘rtacha arifmetik qiymati bo‘lib, uni bu tepalikchalar balandliklarini o‘lchash bilan aniqlab bo‘lmaydi. Shuning uchun bunday quvurlarning o‘rtacha g‘adir-budirliklarini aniqlashda quyidagicha yo‘l to‘tiladi.

Kvadrat qarshiliklar sohasida Darsi-Veysbax (4.92) formulasidan va tajribada aniqlanadigan kattaliklardan foydalanib, Darsi ko‘effitsientining (λ) ning son qiymati aniqlanadi. Keyin (4.105) ifodadan foydalanib $\bar{\Delta}$ kattalikning o‘rtacha qiymati hisoblanib, u ekvivalent g‘adir-budirlik deb yuritiladi. Bu kattalik quvur materialining turi, tayyorlanish usuli, ulanishiga hamda quvo‘rning ishlatilish muddatiga bog‘liqdir. Bu usulda aniqlangan ekvivalent g‘adir-budirlikning qiymatlari 4.2-jadvalda keltirilgan.

Quvur va kanallarning ekvivalent $\bar{\Delta}$ g‘adir-budirliqi

4.2-jadval

Quvur va kanallar xarakteristikasi	Δ , mm
<i>I. Yaxlit quvurlar</i>	
Latun	0,0015-0,0100
Yangi ishlatilayotgan po‘lat	0,020-0,100
Ishlatilayotgan po‘lat suv quvurlari	1,20-1,50
<i>III. Yaxlit payvandlangan quvurlar</i>	
Yangi yoki yaxshi holatdagi quvurlar	0,04-0,10
Foydalanilgan	$\approx$ 0,10-0,15
Kuchli yemirilgan	2,0
<i>II. Chuyan quvurlar</i>	
Yangi	0,25-1,00
Yangi bitum singdirilgan	0,10-0,15
Asfaltlangan	0,12-0,30
Foydalanilgan	1,00-1,50
<i>IV. Betonli va asbest sementli quvurlar</i>	
Sirti silliq betonli	0,3-0,8
O‘rtacha sifatli silliqlangan	2,5
Sirti dag‘al betonli	3,0-9,0
Yangi asbest sementli	0,05-0,10
Foydalanilgan asbest sementli quvurlar	$\approx$ 0,60

V. Yog'och va shishali quvurlar	
Yuqori sifatli silliqlangan quvurlar	0,15
Yaxshi sifatli silliqlangan quvurlar	0,30
Past sifatli silliqlangan quvurlar	0,70
Shishali quvurlar	0,0015-0,0100
VI. Kanallar silliqlanishi	
Faqat sementli aralashma bilan suvalgan	0,05-0,22
Temirli sement aralashmasi bilan suvalgan	0,5
Metall setka ustidan suvalgan	10-15
Shlakobeton plitalar	1,5

Berilgan quvur uchun Δ ga asoslanib, nisbiy g'adir-budirlik $\bar{\Delta}_r$ kattaligi topiladi. (3.129) ifoda yordamida esa, Re_D soni hisoblanadi. $\bar{\Delta}_r$ va Re_D kattaliklarga asoslanib, 4.28-rasmda keltirilgan grafikka asosan, Darsi koeffitsienti (λ) aniqlanadi.

Kolbruk formulasi orqali Darsi koeffitsientini aniqlashda tanlab olish usulidan foydalanishga to'g'ri kelishi sababli, u ancha noqulay formula hisoblanadi.

Shu sababli, A.D.Altshul tomonidan quyidagi ko'rinishdagi formula taklif etilgan:

$$\lambda \approx 0,1 \left(1,46 \bar{\Delta}_r + \frac{100}{Re_D} \right)^{0,25} \approx 0,11 \left(\bar{\Delta}_r + \frac{68}{Re_D} \right)^{0,25} \quad (4.106)$$

Albatta, bu formulani *turbo'lent sohaning kvadrat qarshiliklarga* bo'lgan qismi uchun ishlatish o'rinliroqdir.

Turbo'lent sohaning *kvadrat qarshiliklar qismi* uchun esa yanada sodda ko'rinishli formulani Shifrinson taklif etgan:

$$\lambda = 0,114 \sqrt{\bar{\Delta}_r} \quad (4.107)$$

Bu formuladan faqat Altshul formulasiga asosan, $\bar{\Delta}_r < 0,007$ bo'lgan holatlarda foydalanish mumkin.

Agar tomonlari nisbati $0,5 \div 2,0$ ga teng bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli quvurlar uchun λ gidravlik ishqalanish koeffitsientini aniqlash zarurati paydo bo'lsa, yuqorida keltirilgan grafik va formulalardan foydalanish mumkin. Faqat *Dgidravlik diametr* bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$D_r = 4R$$

bunda, R – quvo'rning gidravlik radiusi. Bunda faqat aylana quvurlarda quvo'rning geometrik diametri gidravlik diametr ga teng bo'lishini ta'kidlash mumkin – $D = D_r$

4.28-rasmda g'adir-budir kvadrat qarshilikkacha bo'lgan qismni chegaralab turgan ikkita punktir chiziqqa e'tiborni qaratamiz, bu qism (4.102) ifoda bilan xarakterlanib, Reynolds soniga bu qismda quyidagi chegaraviy qiymatlarga ega:

$$(Re_D)'_{qez} < (Re_D) < (Re_D)''_{qez}$$

Agar

$$4000 \leq Re_D \leq (Re_D)'_{qez} \quad (4.108)$$

unda bu qism silliq quvurlar qismi bo'lib, bunda (4.101) ifoda o'rinli bo'ladi.

Agar

$$Re_D \geq (Re_D)''_{uez} \quad (4.109)$$

bo'lsa, bu qism kvadrat qarshiliklar qismi bo'lib, (4.103) ifoda o'rinli bo'ladi.

A.D.Altshul Reynolds sonining chegaraviy qiymatlari uchun quyidagi ifodani taklif qilgan:

$$(Re_D)'_{uez} \approx \frac{23}{\Delta_r} \quad (4.130)$$

$$(Re_D)''_{uez} \approx \frac{560}{\Delta_r} \quad (4.131)$$

Aziz talaba, bu masalani o'rganish jarayonida Reynolds sonining chegaraviy va kritik qiymatlari o'rtasidagi tafovutni aniq tushinib olish muhim ahamiyatga egadir.

2^o. Naporli silliq quvurlar. Bunday holatlarda (4.104) va (4.107) ifodalar sodda ko'rinishni olib, Prandtl (4.97) va Blazius (4.98) ifodalari ko'rinishiga keladi. (4.98) formula Reynolds sonining quyidagi qiymatlari uchun aniq natija beradi:

$$4000 < Re_D < 100000 \quad (4.132)$$

$Re_D > 4000$ holatlarda quyidagi keltirilgan ifodadan ham foydalanish mumkin:

$$\lambda = \frac{1}{(1,82 \lg Re_D - 1,64)^2} \quad (4.133)$$

1948 yilda G.K.Filonenko tomonidan bu quvurlar uchun quyidagi Darsi koefitsientini aniqlash uchun quyidagi empirik formula taklif etilgan:

$$\lambda = \left(\frac{0,55}{\lg \frac{Re}{8}} \right)^2$$

Kyollebruk va Konakov tomonidan silliq quvurlar uchun Darsi koefitsientini aniqlash uchun quyidagi empirik formula taklif etilgan:

$$\lambda = \left(\frac{0,556}{\lg \frac{Re}{7}} \right)^2$$

Agar quvo'rning shakli to'g'ri to'rtburchak shaklida bo'lsa, silliq quvurlarning hisobi birinchi banddagi kabi bajariladi.

3^o. Qo'shimcha ma'lumotlar.

1. *Amaliyotda foydalaniladigan po'lat va cho'yan quvurlar uchun* Darsi – gidravlik ishqalanish koefitsientining son qiymati F.A.Shevelev formulasidan foydalanib aniqlanadi.

a) $Re_D \geq 9,2 \cdot 10^5$ (kvadrat qarshiliklar qismi uchun)

$$\lambda = \frac{0,021}{D^{0,3}} \approx \frac{0,021}{\sqrt[3]{D}} \quad (4.134)$$

b) $Re_D \leq 9,2 \cdot 10^5$ (kvadrat qarshiliklar qismigacha bo'lgan qism uchun)

$$\lambda = \left(\frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{D} + \frac{1}{Re_D} \right)^{0,3} \quad (4.135)$$

Bu formulalarda quvur diametri D – metr o‘lchov birligida ifodalanadi.

2. *Plastmassa va polietilen materiallaridan tayyorlangan quvurlar uchun* Darsi koefitsientini aniqlashda amaliyotda quyidagi formulalar qoniqarli natija berishi aniqlangan:

Quyidagi formula F.A. Shevelev tomonidan taklif etilgan:

$$\lambda = 0,25 / Re^{0,226}$$

Ishlab chiqarishda ishlatiladigan polietilen materiallaridan tayyorlangan quvurlar uchun Darsi koefitsientini aniqlashda quyidagi formuladan foydalanish mumkin:

$$\lambda = 0,288 / Re^{0,226}$$

3. *Gidrotexnika amaliyotida tadqiqot va amaliy tajribalarda qo‘llaniladigan shisha quvurlar uchun* bu koefitsient kattaligi Rossiya Federatsiyasining Moskva shahridagi VODGYeO ilmiy-tadqiqot institutida olib borilgan tadqiqotlar natijasiga asosan Reynolds sonining $Re = 4 \cdot 10^4 \div 8 \cdot 10^5$ qiymatlari uchun quyidagicha aniqlanishi taklif etilgan:

$$\lambda = 0,312 / Re^{0,226}$$

4. *Oqava suvlar uchun* gidravlik ishqalanish koefitsienti N.F.Fedorov tomonidan taklif etilgan formula yordamida aniqlanishi mumkin:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_s}{3,42 \cdot 4R} + \frac{a}{Re} \right)$$

bunda, R – gidravlik radius, Δ_s – ekvivalent g‘adir-budirlik, mm va a – o‘lchov birliksiz kattalik. Bu parametrlar quyidagi jadvalga asosan aniqlanadi.

4.3-jadval

Quvurlar	Δ_s , mm	a
Keramik	1,35	90
Asbestsement	0,60	73
Beton va temirbeton	2,00	100
Po‘lat	0,80	79
Cho‘yan	11,0	83

5. *Kapillyar sug‘orishda qo‘llaniladigan quvurlar uchun.*

Bunday quvurlar asosan sintetik materiallardan tayyorlanib, ularning devorlarida tirqishlar qoldiriladi. Bunday holatlarda quvurlar tizimi bo‘ylab sarf o‘zgarganligi sababli, uzunlik bo‘ylab qo‘shimcha energiyanning yo‘qolishi kuzatiladi. Bunday holatda gidravlik ishqalanish koefitsientining qiymati oshadi.

Sug‘orish quvurlarining $d = 0,016 \div 0,05$ m , o‘lchamlari uchun tirqishlar orasidagi masofa $0,06 \div 4,00$ m bo‘lib, tirqish diametri $1,0 \div 3,0$ mm bo‘lishi kuzatiladi. Sarfni o‘zgarishi natijasida oqimning turbo‘lent harakati mavjud bo‘lib, Reynolds soni $Re < 10^5$ shartni bajaradi.

Shu sababli, gidravlik ishqalanish koeffitsienti silliq quvurlardagi holat uchun aniqlanishi mumkin. $Re > 10^5$ shart bajarilganda esa bu koeffitsientning qiymati uzunlik bo'yicha doimiy va o'zgaruvchan sarflar uchun bir xil bo'ladi.

6. Turli materiallardan tayyorlangan drenaj quvurlar uchun.

Bunday quvurlarda uzunlik bo'yicha sarfning oshishi kuzatilib, Darsi koeffitsienti qiymati ham oshadi. Gidrotexnika amaliyotida drenaj quvurlar plastmassa, silliq shisha, gofra, keramik materiallardan tayyorlanib, ularda drenaj tirqishlar mavjud bo'ladi.

Shisha plastik drenaj quvurlarida oqim turbo'lent tartibdagi kvadrat qarshiliklargacha va kvadrat qarshiliklar sohasida harakatlanadi.

Keramik drenaj quvurlarda $Re \leq 10^5$ shart bajarilib, ular silliq quvurlar kabi ishlaydi.

Gofra quvurlarda $\Delta_s = 1,3 \div 1,9 \text{ mm}$ qiymatlar uchun kvadrat qarshiliklargacha bo'lgan soha uchun A.I.Murashko tadqiqotlari natijasida Kolbruk-Uayt formulasiga asosan aniqlash mumkinligini taklif etgan:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + 0,27 \frac{\Delta}{d} \right)$$

Gofra quvurlarda oqimning turbo'lent tartibdagi kvadrat qarshiliklar sohasi $Re \approx 10^5$ vaziyatda boshlanib, bunda gidravlik qarshilik kattaligi 5 foizga oshishi aniqlangan.

4.16. GIDRAVLIK ISHQALANISH – DARSİ KOEFFISIENTI KATTALIGINI TO'G'RI TO'RTBURCHAK SHAKLIDAGI OCHIQ O'ZANLAR UCHUN ANIQLASHGA DOIR A.P.ZEGJDA TAJRIBALARI

Umuman, gidrotexnika amaliyotida muhim o'rin tutadigan oqimning ochiq o'zanlardagi naporsiz harakati uchun bu sohada A.P.Zegjdaning to'g'ri to'rtburchak shakldagi kesimga ega bo'lgan ochiq o'zanlardagi tadqiqotlarida to'xtalishni maqsadga muvofiqdir. Shu o'rinda 1939 yilda muallif tomonidan ochiq o'zanlarda keng qamrovli va mukammal o'tkazilgan tadqiqotlar natijalariga asosan quyidagilarni e'tirof etish mumkin. Oqim chuqurligi, kengligi va o'zan tubi nishabligining turli qiymatlari uchun R/Δ munosabatning kattaliklarida turli g'adir-budirliklar o'rganilgan. Tadqiqotlardan olingan natijalar tahlili muallifga quyidagi Nikuradzening aylana quvurlarga o'xshash grafiklarini olish imkoniyatini bergan.

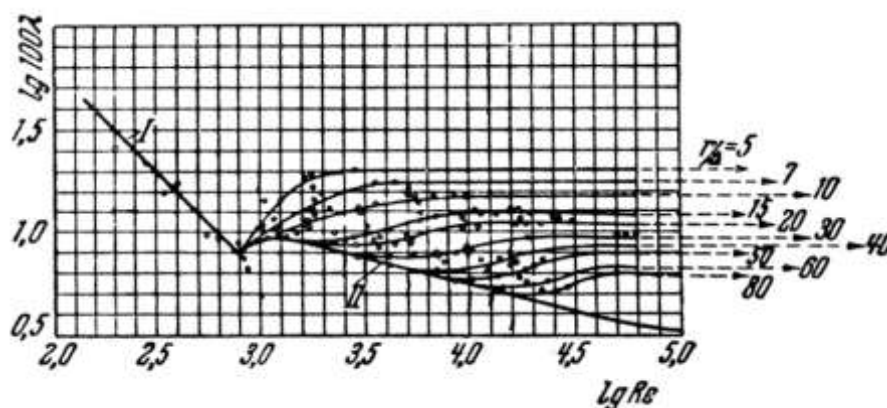
A.P.Zegjdaning olgan natijalari ochiq o'zanlar gidravlikasi uchun muhim ahamiyatga ega bo'lib, ular bizga Nikuradze grafigining nafaqat sifat jihatdan balki, hisobiy tenglamalarning sonli natijalari mos keladi deb xulosa qilishga asos beradi. A.P.Zegjda tomonidan turbo'lent sohaning kvadrat qarshiliklar qismi uchun notekis g'adir-budirlikda Darsi – gidravlik ishqalanish koeffitsientini quyidagicha aniqlashni taklif etgan:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{R}{\Delta} + 2,125$$

Bu formulani $2,125 = 2 \lg 11,55$ ekanligini e'tiborga olib, quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{R}{\Delta} + 2 \lg 11,55 = 2 \lg \frac{11,55R}{\Delta}$$

Ochiq oʻzanlar uchun ushbu formula qoniqarli natija berishini taʼkidlab oʻtitish maqsadga muvofiqdir.



4.29-rasm.

4.17. KVADRAT QARSHILIKLAR SOHASI UCHUN OQIMNING TURBOʻLENT TEKIS BARQAROR HARAKATDA NAPORNING UZUNLIK BOʻYICHA YOʻQOLISHI. SHEZI FORMULASI. SARF VA TEZLIK MODULLARI

Aziz oʻquvchi, biz oʻz xayot tajribamizda koʻpincha ochiq oʻzarlarda suv oqimining tezligi yuqori boʻlishini kuzatamiz. Bu oʻz navbatida oqimning tezligiga toʻgʻri proporsional boʻlgan Reynolds sonining yuqoriligiga olib keladi, yaʼni, oqim harakati juda koʻp hollarda turboʻlent tartibda boʻlib, aksariyat hollarda kvadrat qarshiliklar sohasida boʻladi.

$$Re > Re_{cheg} \quad (4.136)$$

bunda, Re_{cheg} – turboʻlent tartibdagi harakat ikkinchi sohasining tugashi chegaraviy qiymatidagi Reynolds soni.

Umuman, gidrotexnika amalyotida kvadrat qarshiliklar sohasida hisoblashni qulayligi sababli, kvadrat qarshiliklar sohasigacha boʻlgan holat uchun gidravlik hisoblar shu usulda olib boriladi. Haqiqatan ham kvadrat qarshiliklarga boʻlgan sohada gidravlik ishqalanish koeffitsienti λ Reynolds soniga bogʻliq, bu esa v – oqim oʻrtacha tezligiga xam bogʻlikdir. Shu sababli, bu masalani tanlab olish usuli bilan hisoblash talab qilinadi. Kvadrat qarshiliklar sohasida esa bu koeffitsient Reynolds soniga bogʻliq emas, shuning uchun masalani toʻgʻridan toʻgʻri tanlab olish usulisiz hisoblash mumkin. Albatta, shuni taʼkidlash kerakki, Reynolds sonini inobatga olmasliknatijasida kelib chiqadigan noaniqlik, gʻadir-budirlikni aniqlashdagi noaniqlikdan ancha kichik boʻladi. Shu sababli, koʻpincha amaliyotda oʻzanning gʻadir-budirliги oʻzanni sifat xarakteristikasi asosida tuzilgan jadvallar asosida qabul qilinadi.

G'adir-budirlik koeffitsienti qiymati

4.4-jadval

Daraja	Devorlar turi	n	$1/n$
I	O'ta silliq sirtlar; emal bilan qoplangan sirtlar	0,009	111
II	Yaxshi o'rnatilgan, o'ta o'tkir taxta. Toza sementdan yaxshi suvoq	0,010	100
III	Yaxshi sementli suvoq (1/3 qumdan) . Yaxshi yotqizilgan yoki ulangan yangis opol, cho'yan va temir quvurlar. Qirrali taxta	0,011	90,9
IV	Yaxshi o'rnatilgan qirrasiz taxta. O'rtacha sharoitdagi suv o'tkazgich quvur juda yaxshi betonlangan; Sezilarisiz inkrustatsiyalangan, juda toza suv oquvchi quvurlar, juda yaxshi betonlangan	0,012	83,3
V	Yaxshi g'ishtli, yaxshi sharoitdagi yupqa taxtali terish. O'rta sharoitdagi tarnov quvurlar, bir necha ifloslangan suv o'tkazgich quvurlar	0,013	76,9
VI	Ifloslangan quvurlar (suv o'tkazgich va tarnovli) o'rta sharoitda betonlangan quvurlar	0,014	71,4
VII	O'rtacha g'ishtli terish, o'rta sharoitdagi yupqa toshdan qoplash. Sezilarli ifloslangan tarnovlar. Yog'och reyklar bo'yicha brezent	0,015	66,7
VIII	Yaxshi tosh devor, eski (harob) g'isht terish; nisbatan qo'pol betonlangan. Juda silliq juda yaxshi ishlov berilgan qoyatosh	0,017	58,8
IX	Qalin mustaxkam gil qavat bilan qoplangan kanallar, zich sog'tuproqli kanallar va zich mayda shag'alli, gil bilan qoplangan	0,018	55,6
X	O'rtacha (qoniqarli) tosh devor. Tosh yotqizilgan yo'l. Qoyada juda toza yuvilgan kanallar. Gil qoplangan zich yerdagi, zich shag'alli, toshli kanallar (o'rtacha xolda)	0,020	50,0
XI	Zich loyli kanallar. Bir tekis bo'lmagan (uzlukli) gil qoplangan yerda, shag'al, toshli kanallar. O'rtadan yuqori sharoitda tamirli va saqlangan, katta tuproq kanallar	0,0225	44,4
XII	Yaxshi quruq terish. Yaxshidan kamroq o'rtacha sharoitda saqlangan va remontli kata tuproq kanallar. Juda yaxshi sharoitdagi daryolar (chuqur yuvilishsiz va o'yilishsiz, erkin oqimli toza to'g'ri o'zan)	0,025	40,0
XIII	Tamir va saqlash sharoiti o'rta meyordan past –katta; o'rta sharoitda – kichik tuproq kanallar	0,0275	36,4
XIV	Nisbatan yomon sharoitdagi tuproq kanallar; sezilarli o'tlar o'sgan; mahalliy o'yilgan chuqurchalar	0,030	33,3
XV	Juda yomon sharoitdagi kanallar. Nisbatan yaxshi sharoitdagi daryolar, lekin bazi miqdorda tosh va suv o'tlari bilan	0,035	28,6
XVI	Sezilarli yomon sharoitdagi kanallar (o'zan bo'ylab o'pirilgan va yuvilgan; qamishlar o'sgan quyuq ildizlar; yirik toshlar va x.) bora-bora daryo oqimi sharoiti yomonlashadi (boshqa punktlarga nisbatan)	0,040 va ko'p	25 va kam

Yuqoridagi mulohozalarga asoslanib, gidrotexnik amaliyotda, asosan, oqimning turbo‘lent tartibdagi kvadrat qarshiliklar sohasini keng o‘rganish talab etiladi.

Faqat quyidagi holatlar bundan mustasno:

- grunt suvlari harakati (laminar tartibli harakat)
- inshootlar modellaridagi oqim harakati
- nihoyatta silliq devorli, katta ko‘ndalang kesimli o‘zanlardagi oqim harakati.

Biz bu mavzuda asosiy e‘tiborni shu soha uchun oqimning naporli va naporsiz tekis harakatiga qaratamiz. Bunday harakat aksariyat hollarda tsilindrik o‘zanlarda (ko‘ndalang kesimi o‘zan uzunligi bo‘yicha o‘zgarmaydigan ($d\omega/ds = 0$)), yani to‘g‘ri ko‘ndalang kesimli kanalarda mavjud bo‘ladi.

«To‘g‘ri ko‘ndalang kesim» deganda biz, asosan aylana, kvadrat, to‘g‘ri to‘rtburchak, trapetsiodal kesimlarni tushunamiz. Mashinasozlik amaliyotidagi yulduzsimon kesimlar bundan mustasno.

4.22-rasmdagi tasvirlangan holatga asoslanib, tsilindrik o‘zanning boshlang‘ich qismidagi oqim harakatida tezlik epyurasi xususiy ko‘rinishga egaligi sababli, u qism ham qaralmaydi. Chunki, bunda qarshilik boshqacha bo‘ladi. Bundan keyin faqat tekis harakatni nazarda tutamiz.

1^o.Shezi formulasi.

Darsi-Veysbax formulasidan oqim o‘rtacha tezligi aniklaymiz

$$h_l = \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (4.137)$$

$$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{R \frac{h_l}{l}} \quad (4.138)$$

$$\boxed{v = C\sqrt{RJ}} \quad (4.139)$$

bunda, $S = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$ – Shezi koeffitsienti, $m^{0,5}/c$; v – oqimning o‘rtacha tezligi, m/c ;

R – gidravlik radius, m ; J – oqimning tekis harakatida gidravlik nishablikka mos pezometrik nishablik.

Bu formula Shezi formulasi deb atalishi bizga ma‘lum.

$$\lambda = \frac{8g}{C^2} \quad (4.140)$$

(4.139) ifodaga asoslanib, gidravlik qarshilik Reynolds soni (Re) ga bog‘liqligini etiborga olib, Shezi koeffitsientini ham kvadrat qarshiliklar sohasida faqat g‘adir-budirlikka bog‘liqligini etrof etish kerak.

2^o. Shezi formulasiga asosan olingan formulalar.

$$h_l = J l = \frac{v^2}{C^2 R} \quad (4.142)$$

$$\boxed{Q = \omega v = \omega C \sqrt{RJ}} \quad (4.143)$$

Bu formula **tekis harakatining asosiy hisoblanish tenglamasi** deb ataladi, bunda, l oqim harakatlanayotgan hisobiy soha uzunligi;

3^o.Sarf moduli.

$$K = \omega C \sqrt{R} \quad (4.144)$$

bunda, K –sarf moduli.

Belgilash kiritamiz:

$$Q = K \sqrt{J} \quad (4.145)$$

Bunda tekis harakat uchun:

$$K = \frac{Q}{J} \quad (4.146)$$

Bu formuladan ko‘rinib turibdiki, $J = 1,0$ da $K=Q$, $J = h_l / l$ o‘lchov birliksiz munosabat bo‘lganligi uchun K sarf moduli Q sarf o‘lchov birligiga ega.

$$J = \frac{Q^2}{K^2} \quad (4.147)$$

Demak,

$$h_l = J l = \frac{Q^2}{K^2} l \quad (4.148)$$

4^o.Tezlik moduli

$$W = C \sqrt{R} \quad (4.149)$$

Belgilash kiritamiz

$$v = W \sqrt{J} \quad (4.150)$$

Tekis harakat uchun

$$W = \frac{v}{\sqrt{J}} \quad (4.151)$$

Agar $J = 1,0$ bo‘lsa, tezlik moduli tezlik bilan bir xil o‘lchov birlikka ega bo‘ladi.

$$J = \frac{v^2}{W^2} \quad (4.152)$$

Demak,

$$h_l = \frac{v^2}{W^2} l \quad (4.153)$$

Sarf va tezlik modullari quvur va kanallarning gidravlik hisobida keng qo‘llaniladi.

4.18. SHEZI KOEFFITSIENTINI (S) ANIQLASH UCHUN IMPIRIK FORMULALAR

Shezi tenglamasini (4.139) S ga nisbatan yechimini hisoblaymiz:

$$C = \frac{v}{\sqrt{RJ}} \quad (4.154)$$

Har qanday suv oqimi harakatlanayotgan o‘zanda v , R , J kattaliklarni o‘lchab (4.111) formula asosida S Shezi koeffitsientini hisoblash mumkin.

Ko'pgina tadqiqotchilar shu tariqa ish tutib, Shezi koeffitsientini aniqlashga doir empirik formulalarni olishgan. Quyida ulardan ayrimlarini keltirishni Biz, mualliflar maqsadga muvofiq deb topdik.

- *Gangile-Kutter formulasi*

$$C = \frac{23 + 1/n}{1 + 23 \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (4.155)$$

bunda, n – g'adir-budirlik koeffitsienti

- *Manning formulasi*

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (4.156)$$

Bu formula amaliyotda ko'p qo'llanilganligi sababli, keyingi mavzularda, bu formula asosida tuzilgan o'zanning berilgan g'adir budirligi n va aniq parametrlar asosida hisoblangan gidravlik radius R ga asosan Shezi koeffitsientini aniqlash jadvali keltirilgan.

- *Akademik N.N Pavlovskiy formulasi*

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (4.157)$$

bunda

$$y = f(R, n) \quad (4.158)$$

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10)$$

($R < 1M$ bo'lganda, $y \approx 1,5\sqrt{n}$, $R > 1M$ bo'lganda, $y \approx 1,3\sqrt{n}$).

Bu formula ham amaliyotda ko'p qo'llanilganligi sababli, keyingi mavzularda bu formula asosida tuzilgan o'zanning berilgan g'adir budirligi n va aniq parametrlar asosida hisoblangan gidravlik radius R ga asosan Shezi koeffitsientini aniqlash jadvali keltirilgan.

- *Baxmetov va boshqalarning yarim empirik formulasi (1943 y.)*

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R \quad (4.159)$$

- *I.I. Agroskin formulasi (1949 y.)*

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R \quad (4.160)$$

Bundan tashqari, amaliyotda keng qo'llaniladigan, oqimning turbo'lent tartibdagi harakatining har uchala tekis o'zanlar, kvadrat qarshilikkacha, kvadrat qarshiliklar sohalari uchun o'rinli bo'lgan A.D.Altshulning umumlashtirilgan formulasini ham keltirish mumkin:

$$C = 25 \left(\frac{R}{(80n)^6 + \frac{0,025}{\sqrt{RJ}}} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (4.161)$$

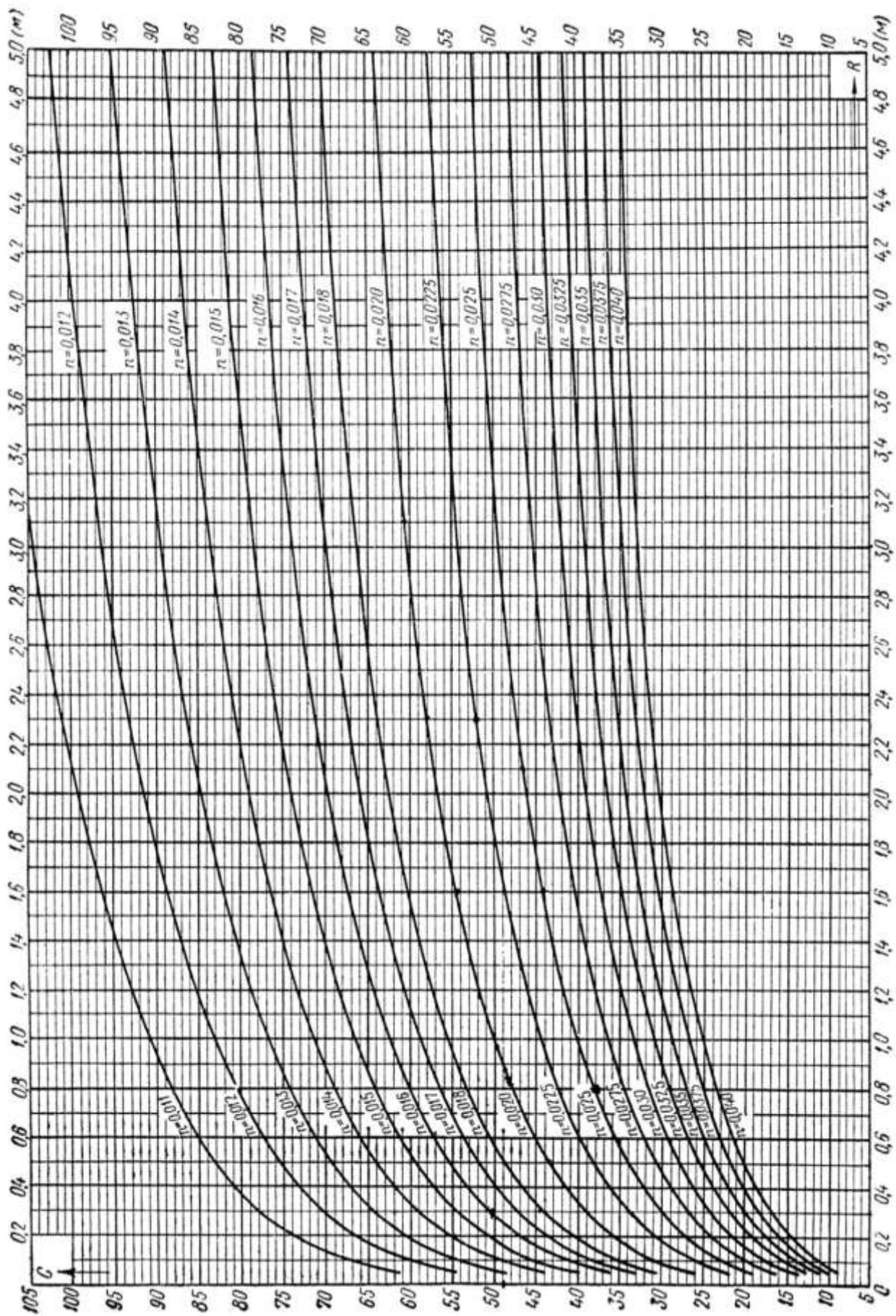
Shezi koeffitsienti S ni quyidagi Manning formulasi asosida tuzilgan jadval yoki N.N.Pavlovskiy maxsus grafigi yordamida ham aniqlash mumkin

Manning formulasiga asosan aniqlangan Shezi koeffitsientining

$$\text{qiymatlari, } C = (1/n)R^{1/6} \mathcal{M}^{0,5}/c$$

4.5-jadval

R, m	n									
	0,011	0,013	0,014	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,045	0,050
0,30	74,38	62,94	58,44	48,13	40,91	32,73	27,27	23,38	18,18	16,36
0,32	75,19	63,62	59,07	48,65	41,35	33,08	27,57	23,63	18,38	16,54
0,34	75,95	64,26	59,67	49,14	41,77	33,42	27,85	23,87	18,57	16,71
0,36	76,68	64,88	60,25	49,61	42,17	33,74	28,11	24,10	18,74	16,87
0,38	77,37	65,47	60,79	50,06	42,55	34,04	28,37	24,32	18,91	17,02
0,40	78,03	66,03	61,31	50,49	42,92	34,33	28,61	24,52	19,07	17,17
0,42	78,67	66,57	61,81	50,90	43,27	34,62	28,85	24,73	19,23	17,31
0,44	79,28	67,09	62,29	51,30	43,61	34,88	29,07	24,92	19,38	17,44
0,46	79,87	67,58	62,76	51,68	43,93	35,14	29,29	25,10	19,52	17,57
0,48	80,44	68,07	63,20	52,05	44,24	35,39	29,50	25,28	19,66	17,70
0,50	80,99	68,53	63,64	52,41	44,54	35,64	29,70	25,45	19,80	17,82
0,55	82,29	69,63	64,65	53,24	45,26	36,21	30,17	25,86	20,11	18,10
0,60	83,49	70,65	65,60	54,02	45,92	36,74	30,61	26,24	20,41	18,37
0,65	84,61	71,59	66,48	54,75	46,54	37,23	31,02	26,59	20,68	18,61
0,70	85,66	72,48	67,31	55,43	47,11	37,69	31,41	26,92	20,94	18,85
0,75	86,65	73,32	68,08	56,07	47,66	38,13	31,77	27,23	21,18	19,06
0,80	87,59	74,11	68,82	56,68	48,17	38,54	32,12	27,53	21,41	19,27
0,85	88,48	74,87	69,52	57,25	48,66	38,93	32,44	27,81	21,63	19,47
0,90	89,33	75,58	70,19	57,80	49,13	39,30	32,75	28,07	21,84	19,65
0,95	90,14	76,27	70,82	58,32	49,57	39,66	33,05	28,33	22,03	19,83
1,00	90,91	76,92	71,43	58,82	50,00	40,00	33,33	28,57	22,22	20,00
1,10	92,36	78,15	72,57	59,77	50,80	40,64	33,87	29,03	22,58	20,32
1,20	93,71	79,30	73,63	60,64	51,54	41,23	34,36	29,45	22,91	20,62
1,30	94,97	80,36	74,62	61,45	52,23	41,79	34,82	29,85	23,22	20,89
1,40	96,15	81,36	75,55	62,22	52,88	42,31	35,26	30,22	23,50	21,15
1,50	97,26	82,30	76,42	62,94	53,50	42,80	35,66	30,57	23,78	21,40
1,60	98,32	83,19	77,25	63,62	54,07	43,26	36,05	30,90	24,03	21,63
1,70	99,32	84,04	78,03	64,26	54,62	43,70	36,42	31,21	24,28	21,85
1,80	100,27	84,84	78,78	64,88	55,15	44,12	36,76	31,51	24,51	22,06
1,90	101,17	85,61	79,49	65,47	55,65	44,52	37,10	31,80	24,73	22,26
2,00	102,04	86,34	80,18	66,03	56,12	44,90	37,42	32,07	24,94	22,45
2,20	103,68	87,73	81,46	67,08	57,02	45,62	38,01	32,58	25,34	22,81
2,40	105,19	89,01	82,65	68,06	57,85	46,28	38,57	33,06	25,71	23,14
2,60	106,60	90,20	83,76	68,98	58,63	46,91	39,09	33,50	26,06	23,45
2,80	107,93	91,32	84,80	69,84	59,36	47,49	39,57	33,92	26,38	23,74
3,00	109,18	92,38	85,78	70,64	60,05	48,04	40,03	34,31	26,69	24,02
3,50	112,02	94,78	88,01	72,48	61,61	49,29	41,07	35,21	27,38	24,64
4,00	114,54	96,92	89,99	74,11	63,00	50,40	42,00	36,00	28,00	25,20
4,50	116,81	98,84	91,78	75,58	64,24	51,40	42,83	36,71	28,55	25,70
5,00	118,88	100,59	93,40	76,92	65,38	52,31	43,59	37,36	29,06	26,15



4.30-rasm. N.N.Pavlovskiy maxsus grafigi

IV. SUYUQLIKNING TURBO‘LENT TARTIBDAGI TEKIS BARQAROR HARAKATIDA MAHALLIY NAPOR YO‘QOLISHLARI

4.19. TRANZIT OQIMINING O‘ZAN DEVORIDAN AJRALISH XODISASI. SIRKULYATSION (SUV AYLANISH) SOHASI.

AJRATISH SIRTI. MAHALIY NAPOR YO‘QOLISHINING UMUMIY XARAKTERI

Turbo‘lent oqim o‘z harakati yo‘nalishida uchragan to‘siqni aylanib o‘tishda tranzit (oqib o‘tayotgan) oqimning o‘zan devoridan ajralishi ro‘y beradi (4.29-rasm) .

Bunda suvning aylanma harakati bilan to‘lgan A soha paydo bo‘lib, bu sohada oqim beqaror harakatga ega bo‘ladi.

Endi bundan buyon suv aylanayotgan A sohani *tsirkulyatsion soha* deb ataymiz.

Oqimning qolgan sohasi *tranzit oqimcha* deb belgilaymiz. Ikkala sohani bir-biridan ajratib turuvchi $abcd$ sirt esa *ajratish sirti* deyiladi. Shuni ta’kidlash lozimki, ajratish sirti beqaror va o‘zgaruvchan xarakterga ega. Ko‘pgina holatlarda uning o‘zi mahalliy aylanmaga aylanib, keskin ravishda alohida aylanmaga o‘tishi mumkin. U yana tranzit oqimchaga tushib, oqib ketadi. Bu jarayon yana-yana takrorlanaveradi. Albatta, doimiy ravishda ajratish sirtida tsirkulyatsion sohani paydo bo‘lishibu sirtida tezlik tebranishi (pulsatsiyasi) ni va bosimni oshishiga sabab bo‘ladi.

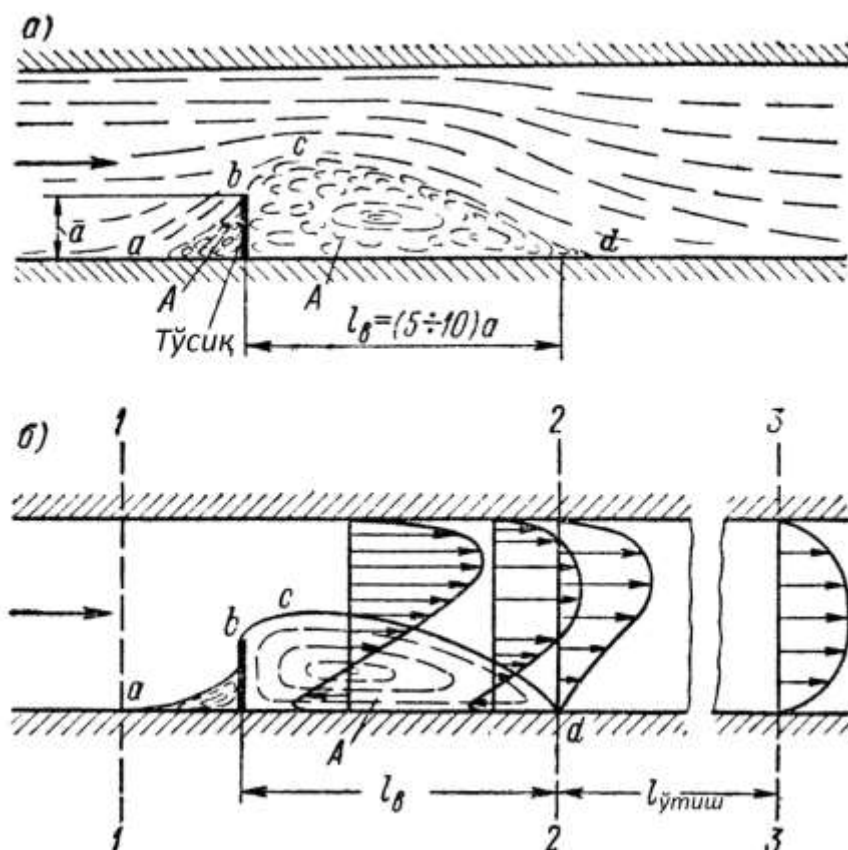
Oqim 4.31, a -rasmdagi tasvirdan bosqichma-bosqich 4.31, b -rasmdagi o‘rtalashgan oqim ko‘rinishiga o‘tadi.

Sirkulyatsion soha qaytuvchi oqim bilan xarakterlanadi. O‘rtalashgan itezliklar epyuralari kattaliklari o‘zan devori yaqinida va tsirkulyatsion sohaning o‘rta chizig‘ida xam nol qiymatga ega bo‘ladi. Sirkulyatsion soha tugashidagi 2-2 kesim nafaqat tezlik pulsatsiyalari va bosimni oshishi bilan balki, o‘rtalashgan tezliklar epyurasininig kuchli deformatsiyalashgan ko‘rinishi bilan ham xarakterlanadi. 2-2 va 3-3 kesim oralig‘ida oqimning o‘rtalashgan tezligi pulsatsiyasi tekis harakatga xos kattalikkacha bo‘lgan holatgacha so‘nib, bu tezlik epyurasi ham tekis harakat epyurasi ko‘rinishini ola boshlab, 3-3 kesimda shushaklni oladi. Shu sababli, 2-2 va 3-3 kesimlar orasidagi sohani *o‘tish* yoki *tsirkulyatsiyadan keyingi soha* deyiladi.

Ajratish sirtida ko‘ndalang pulsatsion tezliklar hisobiga tsirkulyatsion va tranzit oqimchalar o‘rtasida sezilarli suyuqliklar hajmi almashinuvi ro‘y beradi. Ajratish sirti bo‘ylab ta’sir ko‘rsatayotgan turbo‘lent urinma kuchlanishlari nisbatan katta qiymatga ega bo‘ladi. Shu sababli, tsirkulyatsion sohadagi napor yo‘qolishi katta qiymatga ega bo‘ladi. O‘tish sohasidagi napor yo‘qolishi tekis harakatning boshqa sohalarga nisbatan katta qiymatlarga ega bo‘ladi.

Agar bcd ajratish sirtiga egri chiziqli qattiq devor o‘rnatsak, tranzit oqimcha o‘zandan ajralmay harakatlanadi va napor yo‘qolishi sezilarli miqdorda kamayadi.

Bu jarayonni albatta, egri chiziqli devordagi paydo bo‘ladigan urinma kuchlanishlarni turbo‘lent urinma kuchlarning qiymatlaridan sezilarli miqdorda kichik bo‘lishi bilan xarakterlash mumkin.



4.31-rasm. Turbo'lent oqimning to'sikdan aylanib o'tishi. a) xakikiy oqim
b) o'rtalashtirilgan oqim (Reynolds-Bussinesk faraziy modelining chala ko'rinishi)

Demak, xulosa qilib aytish mumkinki, o'zanning alohida sohalarida burilish, keskin burilish, torayish, kengayish, panjara, kran, zadvijka, to'siq o'rnatilgan sohalarida maxalliy yo'qolishlar mavjud bo'ladi.

Albatta, bo'lar ham uzunlik bo'yicha napor yo'qolishlari kabi ishqalanish kuchlari hisobiga paydo bo'ladi.

Bu kuchlar bunday keskin o'zgaruvchan harakat mavjud sohalarida notekis xarakterga ega bo'ladi.

Bunday kesimning sohaları quyidagilar bilan xarakterlanadi:

- harakat chizig'i va harakatdagi kesimning buralishi;
- oqim bo'ylab harakatdagi kesimning o'zgarishi;
- tranzit oqimning qattiq devordan ajralib, tsirkulyatsion sohani paydo bo'lishi.

Bunga o'xshash sohalarida va ulardan keyingi ma'lum masofalardagi sohalarida quyidagilarni kuzatish mumkin.

- oqim bo'ylab o'rtalashgan tezliklar epyuralarining deformatsiyasi;
- tezlik pulsatsiyalari va bosimning oshishi.

Yuqorida takidlangandek, tezlik pulsatsiyasining oshishi turbo'lent urinma kuchlanishlarning oshishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida napor yo'qolishining oshishiga sabab bo'ladi.

Endi esa biz, oqimning turbo'lent tartibdagi harakati kvadrat qarshiliklar sohasida mahalliy napor yo'qolishlarining turlari bilan tanishamiz.

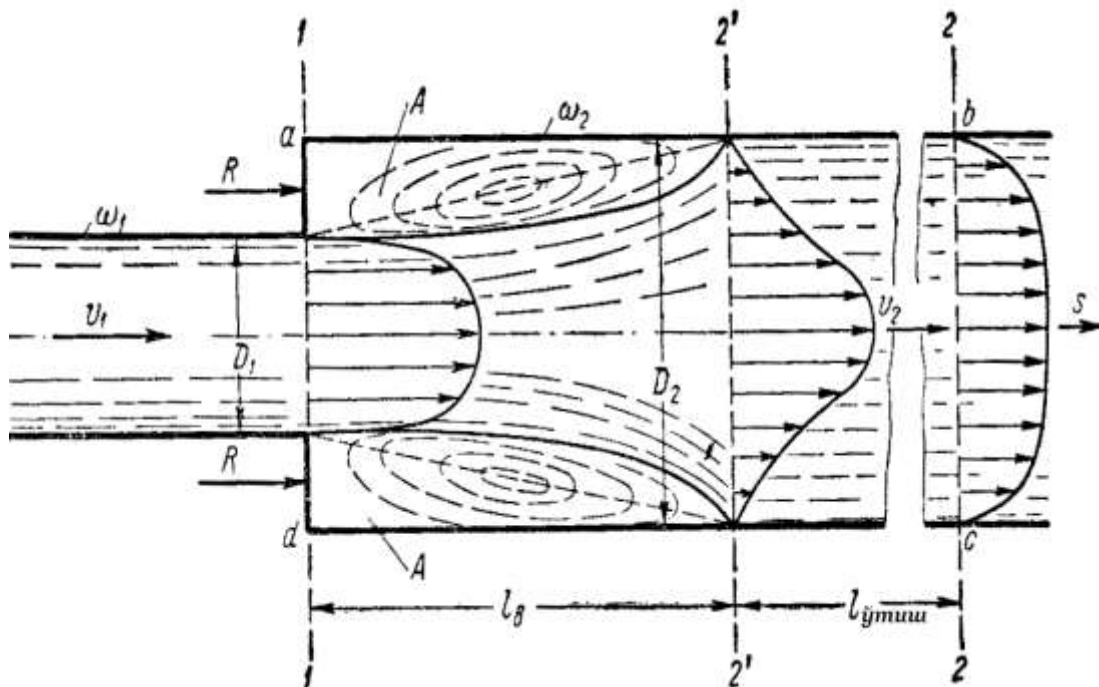
4.20. QUVURLAR TIZIMI (TRUBOPROVOD) NING KESKIN KENGAYISHI. BORD FORMULASI. TRUBOPROVODDAN OQIMNING CHIQISHI

Quvurda harakatlanayotgan oqim D_1 diametrli quvurdan D_2 katta diametrli quvurga o'tgan holatni ko'rib chikamiz ($D_2 > D_1$, 4.32-rasm).

Yuqoridagi mavzuda o'rganilgandek, ma'lum bir l_g uzunlikdagi oqimcha quvur devoridan ajralib A tsirkulyatsion soha tashkil qiladi. 1-1 va 2'-2' kesimlar oralig'ida oqimcha nosimmetrik ko'rinish olishi mumkin. Bu oralig'ida oqim o'qi buraladi. 1-1 va 2'-2' hamda 2'-2' va 2-2 sohalarida oqim harakati notekis bo'lib, ayrim sohalarida keskin o'zgaruvchan bo'ladi.

1-1 va 2-2 kesimlar orasida esa naporning mahalliy yo'qolishi ro'y beradi. Uni $h_{\kappa,\kappa}$ deb belgilab, *keskin kengayishdagi napor yo'qolishi* deb ataymiz.

Bu kattalikni birinchi bo'lib injener Bord aniqlagan va uni egilmas qattiq jismlarda zarb hodisasi kabi tasvirlagan. Shu sababli, uni ayrim hollarda *zarb vaktidagi yo'qolish* deb ataladi.



4.32-rasm. Truboprovodning keskin kengayishi.
Bord formulasini keltirib chiqarishga doir

Bord formulani keltirib chiqarish uchun Bernulli va harakatlar miqdori tenglamasidan foydalangan. Bizga ma'lumki, Bernulli tenglamasi kinetik energiya o'zgarishini ichki va tashqi kuchlarni hisobga olgan holda ko'rsatsa, harakatlar miqdori tenglamasi esa faqat tashqi kuchlarni inobatga oladi. Bu tenglamalarni birgalikda yechib, izlanayotgan napor yo'qolishini aniqlashga imkoniyat beruvchi ichki ishqalanuvchi kuchlarning bajargan ishini ajratib olishga harakat qilamiz. Chunki, ayni shu kuchlar qidiralayotgan napor yo'qolishini sodir etadi.

1-1 va 2-2 kesimlar uchun Bernulli tenglamani yozamiz (4.32-rasm):

$$h_{\kappa.\kappa} = H_{e_1} - H_{e_2} = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} \right) \quad (4.162)$$

bunda, $\alpha=1,0$ deb qabul qilsak,

$$h_{\kappa.\kappa} = \left(\frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) + \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} \right) \quad (4.163)$$

$(p_1 - p_2)$ bosimlar farqini harakatlar miqdori tenglamasidan foydalanib topamiz. Bu tenglamani *abcd* suyuqlik qismiga 1-1 va 2-2 kesimlar uchun bog‘lab yozamiz.

$$\alpha_0 \rho Q (v_2 - v_1) = (T_0)_s + G_s + P_s + R_s \quad (4.164)$$

bunda, α_0 – harakatlar miqdori korrekтиви, $\alpha_0 \approx 1,0$;

$(T_0)_s$ – tashqi ishqalanish T_0 kuchining S gorizontalar harakat yo‘nalishidagi o‘qqa proektsiyasi. (*abcd* qismidagi suyuqlik uchun u nixoyatda kichik bo‘lgani uchun $(T_0)_s = 0$ deb qabul qilamiz (**1-cheklanish**);

G_s – *abcd* qismidagi suyuqlik og‘irligining gorizontalar harakat yo‘nalishiga proektsiyasi $G_s = 0$; P_s – 1-1 va 2-2 kesimlarga yon tomondan ta’sir etuvchi gidrodinamik bosim kuchlari yig‘indisi proektsiyasi;

R_s – devorga ta’sir etuvchi reaksiya kuchi proektsiyasi, $R_s = R$; R – *ad* vertikaldevorning suyuqlikka bosimi, bunda

$$P_s + R_s = (P_1 - P_2) + R = (P_1 + R) - P_2 \quad (4.165)$$

$$P_1 - R = p_1 \omega_2 \quad (4.166)$$

$$P_2 = p_2 \omega_2 \quad (4.167)$$

(2-2) kesim bo‘ylab bosim taqsimlanishi gidrostatik konuniyatga bo‘ysunadi deb qabul qilamiz (**2-cheklanish**).

Demak,

$$P_s + R_s = p_1 \omega_1 - p_2 \omega_2 \quad (4.168)$$

ω_2 – *bc* yoki *ad* doira yuzasi:

$$\rho Q (v_2 - v_1) = p_1 \omega_2 - p_2 \omega_2 \quad (4.169)$$

bundan,

$$\rho = \gamma / g \text{ va } v_2 = Q / \omega_2 \quad (4.170)$$

demak,

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = \frac{Q(v_2 - v_1)}{\omega_2 g} = \frac{(v_2 - v_1)}{g} v_2 \quad (4.171)$$

(4.171ni (4.163)) ifodaga qo‘ysak:

$$h_{\kappa.\kappa} = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} = \frac{2(v_2 - v_1)v_2}{2g} = \frac{v_1^2 - v_2^2 + 2v_2^2 - 2v_1v_2}{2g} \quad (4.172)$$

$$\boxed{h_{\kappa.\kappa} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}} \quad (4.173)$$

Bu *Bord* formulasideyiladi.

Qavs ichidan v_1 tezlikni chiqaramiz:

$$h_{\kappa.\kappa} = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.174)$$

bunda

$$\left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \zeta_{\kappa.\kappa} \quad (4.175)$$

belgilash kiritsak,

$$h_{\kappa.\kappa} = \zeta_{\kappa.\kappa} \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.176)$$

Agar v_2 kattalikni qavs ichidan chiqarsak ham xuddi shunday o'zgarish bo'ladi:

$$h_{\kappa.\kappa} = \zeta'_{\kappa.\kappa} \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.177)$$

$$\zeta'_{\kappa.\kappa} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2 \quad (4.178)$$

$\zeta_{\kappa.\kappa}$ va $\zeta'_{\kappa.\kappa}$ – keskin kengayishdagi qarshilik koeffitsientlari deyiladi.

Agar oqim katta o'lchamli havzaga chiqsa, chiqishda qarshilik koeffitsienti $\omega_2 \gg \omega_1$ holat uchun qaralib (4.33-rasm),

$$\boxed{\zeta_{\text{qu}\kappa} = 1,0} \quad (4.179)$$

deb qabul qilingan. U holda

$$\boxed{h_{\text{qu}\kappa} = \frac{v_1^2}{2g}} \quad (4.180)$$

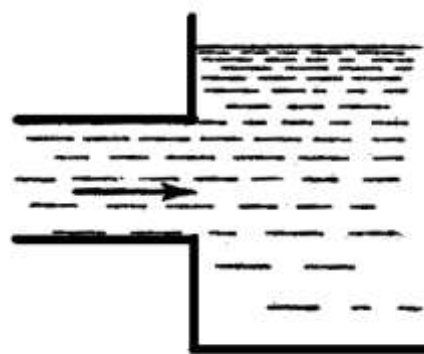
yoki

$$h_{\text{qu}\kappa} = \frac{\alpha v_1^2}{2g} \quad (4.181)$$

Agar ω_2 kichikroq qiymatga ega bo'lsa,

$$h_{\text{qu}\kappa} = \zeta_{\text{qu}\kappa} \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.182)$$

$$\zeta_{\text{qu}\kappa} = \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right)^2 \quad (4.183)$$



4.33-rasm. Chiqishdagi napor yo'qolishi

4.21. QUVO'RNING BOSQICHMA-BOSQICH KENGAYISHI (DIFFUZOR)

Diffuzor 4.34-rasmda keltirilgan. U asosan napor yo'qolishini kamaytirish maqsadida quvur kichik diametrdan katta diametrga o'zgarganda ishlatiladi. Tajribalar natijasida asosan diffuzordan oqim quyidagi holatlarda oqib o'tishi mumkin.

- agar

$$0 < \beta < 8 \div 10^0 \quad (4.184)$$

shart bajarilgan bo'lsa, tranzit oqimcha devordan (4.34, *a*-rasm) ajralmay oqadi.

- agar

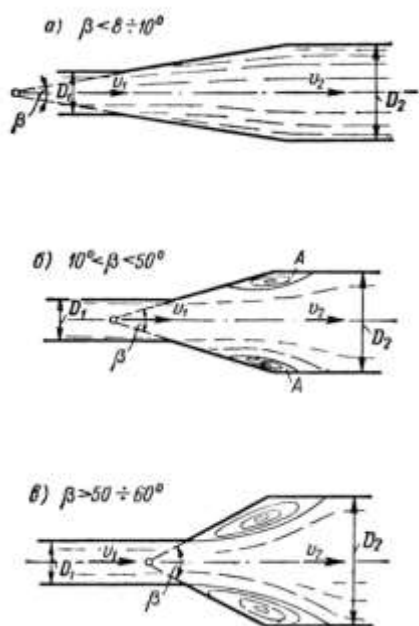
$$8 \div 10^0 < \beta < 50 \div 60^0 \quad (4.185)$$

shart bajarilgan bo'lsa, tranzit oqimcha devordan ajraladi (4.34, *b*-rasm) .

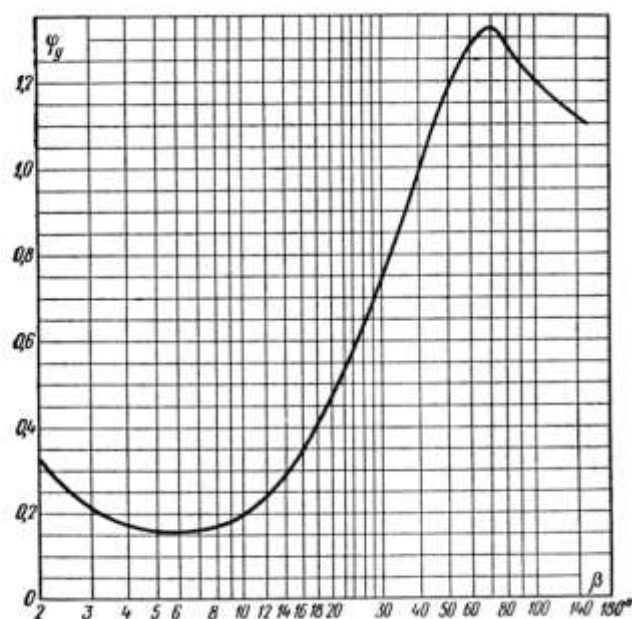
- agar

$$\beta > 50 \div 60^0 \quad (4.186)$$

shart bajarilgan bo'lsa, tranzit oqimcha diffuzor devorlaridan ajralib oqadi (4.34, *v*-rasm) .



4.34-rasm. Diffuzorlar



4.35-rasm. Zarbning to'liqligini aniqlovchi φ_y koeffitsient grafigi

Diffuzordagi napor yo'qolishi qo'yidagicha aniqlanadi:

$$h_{\text{duf.}} = \varphi_y h_{\kappa.\kappa} \quad (4.187)$$

bunda, φ_y – zarbning to'liqligini aniqlovchi koeffitsient.

4.35-rasmdagi grafikdan ko'rinib turibdiki, eng kichik yo'qolgan napor $\beta = 6^0$ da bo'lar ekan.

4.22. TRUBOPROVODNING TORAYISHI. SUYUQLIK OQIMINING TRUBOPROVODGA KIRISHI

Quyidagi rasmlarda truboprovod torayishini turli ko'rinishlari tasvirlangan (4.35-rasm) .

Agar birinchi quvur diametrini nihoyatda katta deb taxmin qilsak, 4.36-rasmdagi torayish o'rniga oqimning katta o'lchamli havzalardan quvurga kirish sxemasiga ega bo'lamiz.

Truboprovodning keskin torayishi holatini ko'rib chiqamiz. (4.35-rasm) . Agar $a > 0,5D_2$ bo'lsa, nazariy jixatdan bu masala keskin kengayishdagi kabi hisoblanadi.

Bunday keskin torayishda suyuqlikning oqib o'tishi quyidagi shartlar bilan xarakterlanadi:

- harakatlanayotgan suyuqlikning M zarrachasi ab devor bo'ylab harakatlanayotganda b nuqtada o'z harakatini keskin teskari tomonga o'zgartirib, inersiya kuchlar tasiri ostida bc devordan ajralishi natijasida A tsirkulyatsion sohani tashkil qilishi kerak.
- A sohada ikkita tranzit oqimcha sohasi mavjud bo'ladi. $s-s$ – siqilgan kesim oldida siqiluvchi, $s-s$ kesimdan keyin kengayuvchi tranzit oqimchalar.

Tajribalar natijasi siqiluvchi sohada napor yo'qolishlari turbo'lent tartibdagi harakat uchun nihoyatda kichik qiymatga ega bo'lib, shu sababli, tezlik pulsatsiyalari kichik bo'lishini va soha uzunligi ham kichik bo'lishini ($\approx 0,50D_2$) isbotlagan.

Shu sababli, mahalliy napor asosan kengayuvchi sohada ($s-s$ va $2'-2'$ kesimlar oralig'ida) yo'qolar ekan.

Demak, Bord formulasiga asosan

$$v_1 = v_c \quad (4.188)$$

$$v_c = \frac{Q}{\omega_c} \quad (4.189)$$

$$v_c = \varepsilon \omega_c \quad (4.190)$$

ε – oqimning vertikal yo'nalishidagi siqilish koeffitsienti:

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega_2} \quad (4.191)$$

Keskin siqilishdagi napor yo'qolishi:

$$h_{\kappa.c} = \frac{(v_c - v_2)^2}{2g} = \left(\frac{v_c}{v_2} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.192)$$

$$h_{\kappa.c} = \zeta_{\kappa.c} \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.193)$$

$$\zeta_{\kappa.c} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \quad (4.194)$$

I.Ye.Idelchuk tomonidan keskin siqilishdagi qarshilik koeffitsientini aniqlash formulasi taklif etilgan.

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}}} \quad (4.195)$$

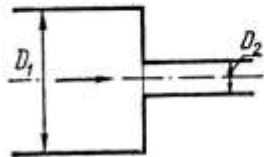
Bu formulani keltirib chikarish uchun Idelchuk quyidagicha yo'l tutgan. $1-1$ va $s-s$ kesimlar Bernulli tenglamasi orqali bog'langan:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} \quad (4.196)$$

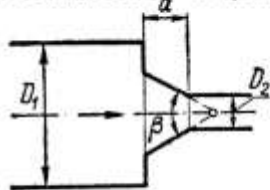
Bundan
$$\frac{v_c^2}{2g} = \left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_c}{\gamma} \right) + \frac{v_1^2}{2g} \quad (4.197)$$

p va v kattaliklar mos ravishda 1-1 va s-s kesimlarga ta'luqlidir.

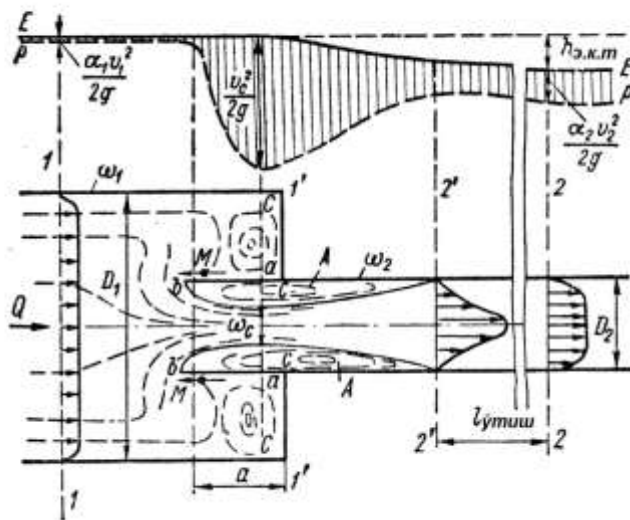
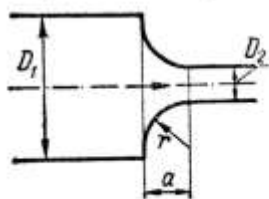
α) Кескин торайиш



б) Аста-секин торайиш



в) Бир текис торайиш



4.36-rasm. Truboprovod torayishi

4.37-rasm. Truboprovodning keskin torayishi

$p_1 - p_c$ farqni harakatlar sohasi tenglamasi orqali topamiz (1-1 va s-s oraliq uchun) $\alpha_{01} = \alpha_{0c} = \alpha_1 = \alpha_c = 1,0$; tashqi kuchlar inobatga olinmaydi. p_1 bosim 1'-1' kesimdagi bosimni gidrostatik konununiyatga bo'ysunadi deb qabul qilib, 1'-1' devor tomonida ta'sir etayotgan bosim kuchini aniqlanadi:

$$\frac{p'}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \quad (4.198)$$

Bu holatni e'tirof etgan holda, Bernulli va harakat miqdori tenglamalarini birgalikda yechib, quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{1}{\varepsilon_{\kappa,c}^2} - \frac{2}{\varepsilon_{\kappa,c}} + \frac{\omega_2}{\omega_1} = 0 \quad (4.199)$$

$$\varepsilon_{\kappa,c} = 0,5 \quad (4.200)$$

$$\varepsilon_{\kappa,c} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (4.201)$$

$$h_c = \xi_c \frac{v_2^2}{2g} \quad (4.202)$$

bunda
$$\zeta_c = \xi \zeta_{\kappa,c} = \xi \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) \quad (4.203)$$

ξ – siqilishni kamaytirish koeffitsienti:

1. Keskin siqilish uchun (4.36, *a*-rasm)

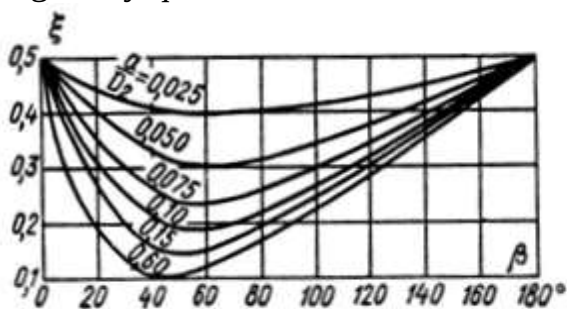
$$\zeta = 0,5$$

$$\zeta'_{\kappa.c} = 0,5\zeta'_{\kappa.c} = 0,5\left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$$

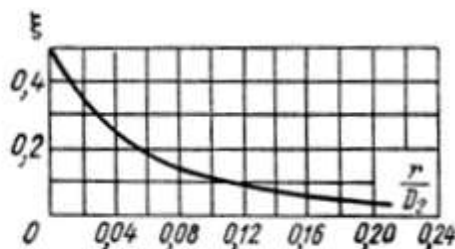
2. Bosqichma-bosqich siqilish holati uchun (4.36, *b*-rasm) . Bu holatda ζ koeffitsient $\frac{a}{D_2}$ munosabat va β burchak kattaliklariga bog‘liq bo‘lib, 4.38-rasmdagi keltirilgan grafik asosida aniqlanadi. Grafikdan ko‘rinib turibdiki, kirishdagi kichik napor yo‘qolishining eng kichik qiymati $\beta = 40 \div 60^\circ$ da mavjud bo‘lar ekan.

3. Bir tekis siqilishdagi holat (4.35, *v*-rasm) . Bu xolda ξ koeffitsient 4.39-rasmdagi grafik yordamida r/D_2 munosabatga bog‘liq holda aniqlanadi. r – kirishdagi yon devorlarning egrilik radiusi.

ξ koeffitsient $r/D_2 = 0,2$ bo‘lganda eng minimal qiymatga ega bo‘lib, keyin o‘zgarmay qolar ekan.



4.38-rasm. 4.36, *b*-rasmda tasvirlangan siqilishni kamaytirish ξ koeffitsientini aniqlash grafigi



4.39-rasm. 4.39, *a*-rasmda tasvirlangan siqilishni kamaytirish ξ koeffitsientini aniqlash grafigi

Endi truboprovodga oqimning katta o‘lchamli havzadan kirish holatini ko‘rib chiqamiz. Bu holat uchun (4.152) formula bo‘yicha yuzasi $\omega_1 = \infty$ bo‘lganda,

$$\zeta_{\kappa p} = \xi \quad (4.204)$$

ξ – yuqoridagi mulohazalardagidek aniqlanadi. Umuman uni, $\omega_1 = D$ holat uchun

$$\zeta_{\kappa p} = 0,5 \quad (4.205)$$

qabul qilish mumkin.

4.23. BOSHQA HOLATLARDA MAHALLIY NAPOR YO‘QOLISHINI ANIQLASH. VEYSBAX FORMULASI

4.37-rasmda suyuqlikni zadviyka (*a*) va burilish (*b*) dagi holatdan oqib o‘tishi tasvirlangan. Bunday holatlarda s-s siqilgan kesimlar va A tsirkulyatsion sohalar mavjudligi xarakterlidir. Bu vaziyatda napor yo‘qolishi yuqorida takidlanganidek, s-s kesimdan keyingi kengayishi sohasida ruy beradi. Shu sababli, Bord formulaga asosan:

$$h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g} \quad (4.206)$$

$$\zeta_m = \left(\frac{\omega}{\omega_c} - 1 \right)^2 = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 \quad (4.207)$$

bunda, ζ_m – maxalliy yo‘qolish koeffitsienti; ω – tranzit oqimchanning harakatdagi kesimi; ω_c – s-s siqilgan kesimdagi oqimchanning harakatdagi kesimi;

Umumiy holatlarda ω_c – siqilgan harakatdagi kesim noma’lumligi sababli, ζ_m kattalikni aniqlash ancha murakkab.

Yuqoridagi fikrni inobatga olib, Veysbax mahalliy napor yo‘qolishini aniqlash uchun (4.206) formulani taklif etgan. Bunda ζ_m kattalik eksperiment – tajriba asosida aniqlanishi mumkin.

1) Ko‘ndalang kesimi aylana shaklda bo‘lgan uchli diafragma uchun

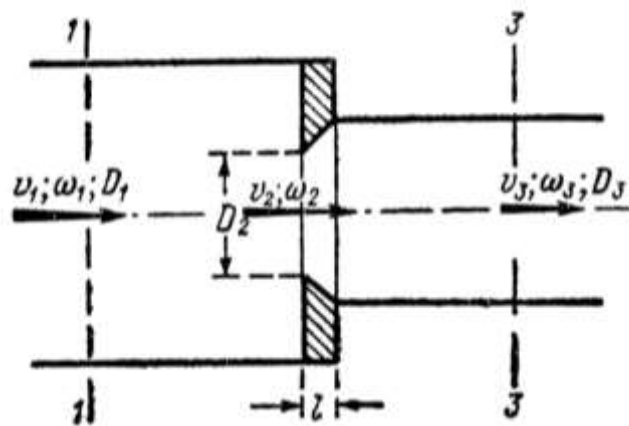
$$Re_D = \frac{v_2 D_2}{\nu} \geq 10^5 \text{ va } \frac{l}{D_2} = 0 \div 0,015 \text{ uchun (4.38-rasm)}$$

$$\zeta_d = \frac{h_d}{v_2^2 / (2g)} \quad (4.208)$$

Quyidagi uchli diafragma uchun ζ_d – qarshilik koeffitsienti qiymati

4.6-jadval.

ω_2 / ω_3	ω_2 / ω_1										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	2,90	2,80	2,67	2,53	2,40	2,25	2,09	1,98	1,75	1,50	1,00
0,2	2,27	2,17	2,05	1,94	1,82	1,69	1,55	1,40	1,26	1,05	0,64
0,4	1,70	1,62	1,52	1,42	1,32	1,20	1,10	0,98	0,85	0,68	0,36
0,6	1,23	1,15	1,07	0,98	0,90	0,80	0,72	0,62	0,52	0,39	0,16
0,8	0,82	0,76	0,69	0,63	0,56	0,49	0,42	0,35	0,28	0,18	0,34
1,0	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0



4.40-rasm. Diafragma

2) Quvo‘rning θ burchakka keskin burilishi (4.41, a-rasm) .

$$\zeta_{\kappa, \delta y p} = \frac{h_{\kappa, \delta y p}}{v^2 / (2g)} \quad (4.209)$$

$\zeta_{\kappa, \delta y p}$ 4.7-jadvaldan aniqlanadi.

Ko'ndalang kesimi aylana shaklidagi quvur keskin burilgandagi

$\zeta_{\kappa, \delta y p}$ qarshilik koeffitsienti

4.7-jadval

θ^0	30	40	50	60	70	80	90
$\zeta_{\kappa, \delta y p}$	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10

2) Quvo'rning θ burchakka silliq burilishi ($Re_D \geq 2 \cdot 10^5$ holat uchun) 4.41, b-rasm.

$$\zeta_{c, \delta y p} = \frac{h_{c, \delta y p}}{(v^2 / 2g)} \quad (4.209)$$

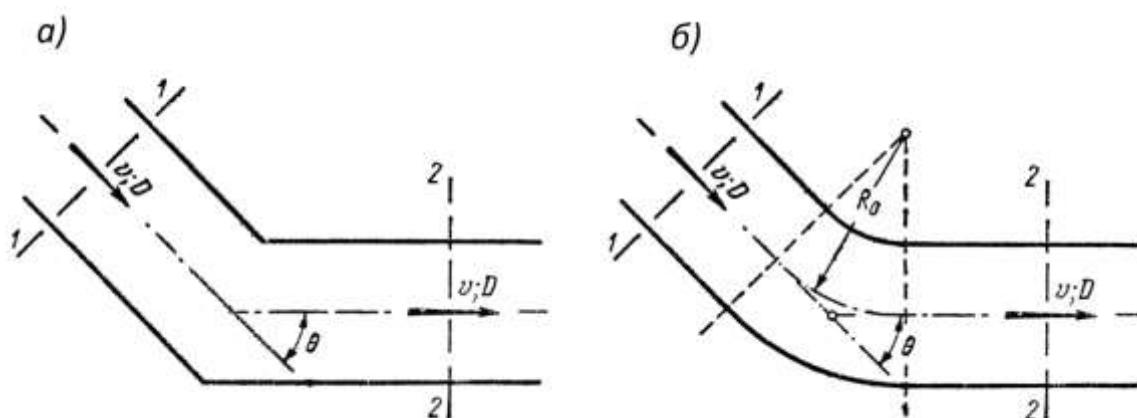
tsilindr shaklidagi quvur silliq burilganda $\zeta_{c, \delta y p}$ qarshilik koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$\zeta_{c, \delta y p} = \zeta' \frac{\theta^0}{90^0}$$

bunda ζ' - Veysbax ma'lumotlariga asosan 4.8-jadvaldan tanlanadi:

4.8-jadval

θ^0	15	30	45	60	90
$\zeta_{c, \delta y p}$	0,025	0,11	0,26	0,49	1,20



4.41-rasm. Quvur burilishi

yoki aylana quvurlar uchun

$$\zeta_{\kappa, \delta y p} = AB \quad (4.210)$$

A va V kattaliklar 4.9va 4.10-jadvallardan aniqlanadi.

(4.210) formuladagi A koeffitsient qiymati

4.9-jadval

θ^0	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
A	-	2,50	2,22	1,87	1,50	1,28	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

(4.210) formuladagi V koeffitsient qiymati

4.10-jadval

θ^0	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
V	0	0,05	0,07	0,17	0,37	0,63	0,99	1,56	2,16	2,67	3,00

3) bir tekis θ burchakka burilish ($Re_D \geq 2 \cdot 10^5$ uchun) 4.41, b-rasm.

$$\xi_{m.\delta yp} = \frac{h_{m.\delta yp}}{v^2/(2g)}$$

$$\xi_{m.\delta yp} = \zeta' \frac{\theta^0}{90^\circ} \quad (4.211)$$

ζ' – 4.11-jadvaldan olinadi. Bu jadval Veysbax ma'lumotlari asosida tuzilgan.

(4.211) formuladagi ζ' koeffitsient qiymati

4.11-jadval

$\frac{D}{2R_0}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ'	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98

Agar quvur aylama shaklida bo'lsa,

$$\xi_{m.\delta yp} = AB \quad (4.212)$$

bunda A kattalik 4.12-jadvaldan olinadi.

B kattalik 4.13-jadvaldan olinadi.

(4.212) formuladan A koeffitsient qiymati

4.12-jadval

θ^0	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
A	0	0,31	0,45	0,60	0,78	0,90	1,00	1,13	1,20	1,28	1,40

(4.212) formuladagi V koeffitsient qiymati

4.13-jadval

$\frac{R_0}{d}$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
V	0,87	0,70	0,44	0,31	0,26	0,24	0,22

4.13-jadval davomi

$\frac{R_0}{d}$	6,0	8,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50
V	0,09	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03

Bu ma'lumotlar I.Ye.Idelchuk tajribalari natijalariga asoslangan.

4) So'ruvchi troynik (4.42-rasm) .

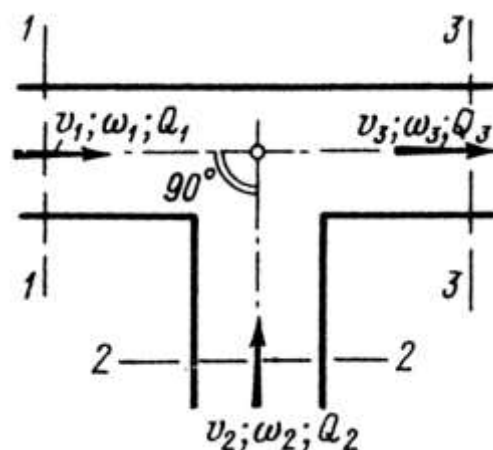
$$\omega_1 = \omega_2$$

$(h_m)_{2-3}$ 2-2 va 3-3 kesimlardagi napor kamayishini hisobga oluvchi ζ_{2-3} va ζ'_{2-3} qarshilik koeffitsientlari

$$\zeta_{2-3} = \frac{(h_m)_{2-3}}{v_3^2/(2g)}; \quad (4.212)$$

$$\zeta'_{2-3} = \frac{(h_m)_{2-3}}{\frac{v_2^2}{2g}} = \frac{\zeta_{2-3}}{\left(\frac{Q_2}{Q_3} \frac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2} \quad (4.213)$$

ζ_{2-3} va ζ'_{2-3} qarshilik koefitsientlari 4.14 va 4.15-jadvallardan ω_2/ω_3 va Q_2/Q_3 munosabatlarga asoslanib aniqlanadi.



4.42-rasm. So'ruvchi troynik

So'ruvchi troynik ζ_{2-3} koefitsient qiymati (4.212) formula (4.42-rasm) .

4.14-jadval

ω_2/ω_3	Q_2/Q_3									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,09	-0,50	+2,97	9,90	19,70	32,4	48,8	66,5	86,9	110,0	136,0
0,19	-0,53	+0,53	2,14	4,23	7,30	11,4	15,6	20,3	25,80	31,80
0,27	-0,59	0,00	1,11	2,18	3,76	5,90	8,38	11,3	14,60	18,40
0,35	-0,65	-0,09	+0,59	1,31	2,24	3,52	5,20	7,28	9,23	12,20
0,44	-0,80	-0,27	+0,26	0,84	1,59	2,66	4,00	5,73	7,40	9,12
0,55	-0,83	-0,48	0,00	0,53	1,15	1,89	2,92	4,00	5,36	6,60
1,00	-0,65	-0,40	-0,24	+0,10	0,50	0,83	1,13	1,47	1,86	2,30

$$\zeta_{1-3} = \frac{(h_m)_{1-3}}{v_3^2/(2g)}; \quad (4.214)$$

$$\zeta'_{1-3} = \frac{(h_m)_{1-3}}{\frac{v_1^2}{2g}} = \frac{\zeta_{1-3}}{\left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2} \quad (4.215)$$

ζ_{1-3} koefitsienti 4.14-jadvaldan Q_2/Q_3 munosabatga asoslanib aniklaymiz.

So'ruvchi troynik ζ_{1-3} koefitsient qiymati (4.215) formula (4.42-rasm) .

4.15-jadval

Q_2/Q_3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{1-3}	0,70	0,64	0,60	0,65	0,75	0,85	0,92	0,96	0,99	1,00

5) **Oqavali troynik** (4.43-rasm) .

$$\zeta_{1-2} = \frac{(\zeta_m)_{1-2}}{v_1^2/(2g)} \quad (4.216)$$

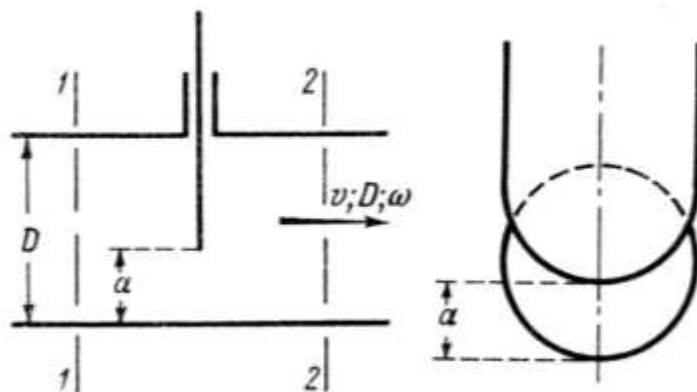
$$\zeta'_{1-2} = \frac{(h_m)_{1-2}}{\frac{v_2^2}{2g}} = \frac{\zeta_{1-2}}{\left(\frac{Q_2}{Q_1} \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2} \quad (4.217)$$

ζ_{1-2} 4.16-jadvaldan aniqlanadi.

$$\zeta_{1-3} = \frac{(h_m)_{1-3}}{v_1^2/(2g)} \quad (4.218)$$

$$\zeta'_{1-3} = \frac{(h_m)_{1-3}}{\frac{v_3^2}{2g}} = \frac{\zeta_{1-3}}{\left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right)^2} \quad (4.219)$$

ζ_{1-3} 4.17-jadvaldan aniqlanadi.



4.43-rasm. Oddiy aylana quvurdagi zadviyka

Oqava troynik uchun qarshilik ζ_{1-2} koeffitsienti qiymati (4.44-rasm) .

4.16-jadval

ω_2/ω_1	Q_2/Q_1									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,09	2,80	4,50	6,00	7,88	9,40	11,10	13,00	15,80	20,00	24,70
0,19	1,41	2,00	2,50	3,20	3,97	4,95	6,50	8,45	10,80	13,30
0,27	1,37	1,81	2,30	2,83	3,40	4,07	4,80	6,00	7,18	8,90
0,35	1,10	1,54	1,90	2,35	2,73	3,22	3,80	4,32	5,28	6,53
0,44	1,22	1,45	1,67	1,89	2,11	2,38	2,58	3,04	3,84	4,75
0,55	1,09	1,20	1,40	1,59	1,65	1,77	1,94	2,20	2,68	3,30
1,00	0,90	1,00	1,13	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,06	2,30

Oqava troynik uchun qarshilik ζ_{1-3} koeffitsienti (4.44-rasm) .

4.17-jadval

Q_2/Q_1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{1-3}	0,70	0,64	0,60	0,57	0,55	0,51	0,49	0,55	0,62	0,70

6) Zadvijkalar

$$\zeta_3 = \frac{h_3}{v^2/(2g)} \quad (4.220)$$

bunda, v – quvurdagi oqimning o‘rtacha tezligi.

h_3 – 1-1 va 2-2 kesim oralig‘ida napor yo‘qolishi (4.44-rasm)

ζ_3 – kattalik quyidagicha aniqlanadi:

- oddiy zadvijka, agar u aylana tsilindrik quvurdagi oqimni yopsa (4.44-rasm) a/D munosabat asosida 4.17-jadvaldan aniqlanadi; A – zadvijka ochiqqligi (4.44-rasm) ;
- Quvur to‘rtburchak shaklida bo‘lsa ζ_3 – a/s munosabat asosida 4.18-jadvaldan aniqlanadi (4.45-rasm) ; S – quvur balandligi;
- *Ludlo zadvijkasi* uchun ζ_3 koeffitsient a/D munosabat asosida 4.19-jadvaldan aniqlanadi (4.46-rasm) ;
- Simmetrik aniqlovchi zadvijka uchun u to‘liq ochilganda 4.20-jadvaldan ζ_3 koeffitsient aniqlanadi (4.47-rasm) ;
- Disksimon to‘siq uchun (4.47-rasm) aylana tsilindrik quvo‘rni yopganda θ burchakka bog‘liq holda 4.21-jadvaldan aniqlanadi;
- Disksimon to‘siq uchun to‘g‘ri to‘rtburchak ko‘ndalang kesimli quvo‘rni yopganda (4.48-rasm) 4.22-jadvaldan θ burchakka qarab aniqlanadi.

Aylana shakldagi tsilindrik quvo‘rni yopuvchi zadvijka uchun ζ_3 qarshilik koeffitsienti (4.44-rasm)

4.17-jadval

a/D	0	0,125	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_3	-	97,8	35,0	10,0	4,60	2,06	0,98	0,44	0,17	0,06	0

To‘g‘ri to‘rtburchak kesimli quvo‘rni yopuvchi oddiy zadvijka uchun ζ_3 koeffitsient qiymati (4.45-rasm) .

4.18-jadval

a/c	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_3	-	193	44,5	17,8	8,12	4,02	2,08	0,95	0,39	0,09	0

Lutko zadvijkasi uchun ζ_3 koeffitsient

4.19-jadval

a/D	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_3	30,0	22,0	12,0	5,3	2,8	1,5	0,8	0,3	0,15

Simmetrik aniqlovchi zadviyka uchun u to'liq ochilganda ζ_3 ko'effitsient qiymati (4.47-rasm)

4.20-jadval

D, mm	300	300	250	200
D_c / D	0,67	0,67	0,80	0,75
l / D	2,50	1,68	1,50	1,33
ζ_3	0,30	0,36	0,16	0,19

Disksimon to'siq uchun aylana tsilindrik ko'ndalang kesimli quvo'rni yopganda ζ_3 ko'effitsient qiymati (4.48-rasm)

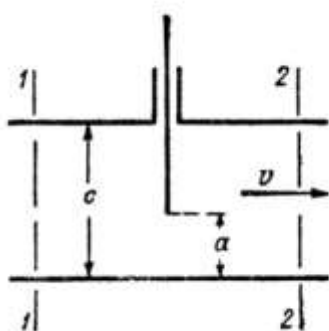
4.21-jadval

θ^0	5	10	20	30	40	50	60	70	75
ζ_3	-	0,52	1,54	4,50	11,0	29,0	108,0	625,0	-

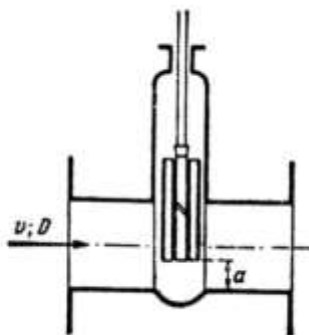
Disksimon to'siq uchun to'g'ri to'rtburchak ko'ndalang kesimli quvo'rni yopganda ζ_3 ko'effitsient qiymati (4.48-rasm)

4.22-jadval

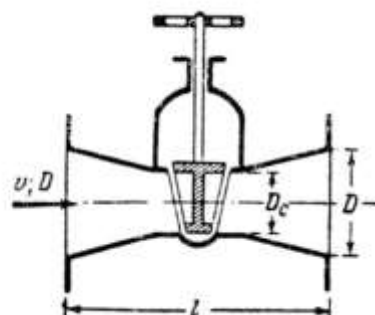
θ^0	5	10	20	30	40	50	60	70	75
ζ_3	-	0,45	1,34	3,54	9,30	25,0	77,0	158,0	368,0



4.48 rasm. To'g'ri to'rtburchak quvurdagi oddiy zadviyka



4.49 rasm. Ludlo zadviykasi



4.50 rasm. Torayishdagi zadviyka

• Klapanlar.

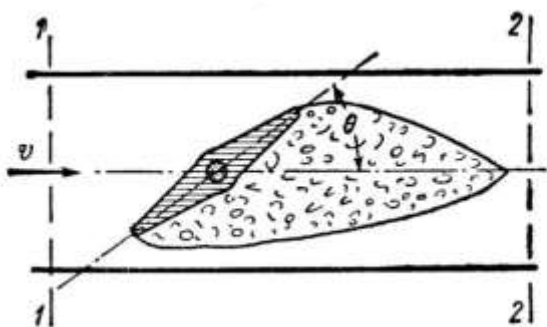
$$\zeta_{\text{кл.}} = \frac{h_{\text{кл.}}}{v^2 / (2g)} \quad (4.221)$$

bunda, v – quvurdagi tezlik; $h_{\text{кл.}}$ – klapanidagi napor yo'qolishi; $\zeta_{\text{кл.}}$ – ko'effitsient kattaligiga quyidagicha aniqlanadi:

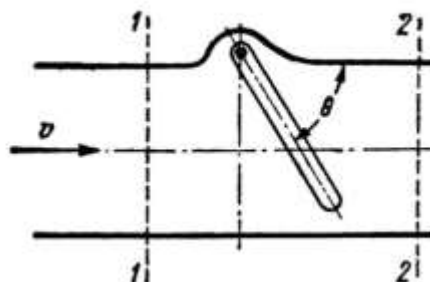
a) Keskin berkitadigan to'siq uchun (4.49-rasm) 4.23-jadvaldan θ burchakka asosan aniqlanadi:

4.23-jadval

θ^0	20	30	40	50	60	70	75
$\zeta_{\text{кл.}}$	1,7	3,2	6,6	14,0	30,0	62,0	90,0



4.48-rasm. Diskli to'siq



4.49-rasm. Keskin berqiladigan to'siq

b) Teskari klapan uchun (4.50-rasm) D diametr kattaligi asosida 4.24-jadvaldan aniqlanadi.

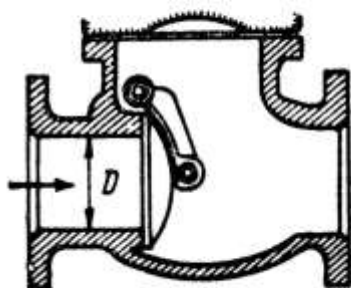
4.24-jadval

D, mm	40	70	100	200	300	500	750
$\zeta_{\text{кл.}}$	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,5	2,9

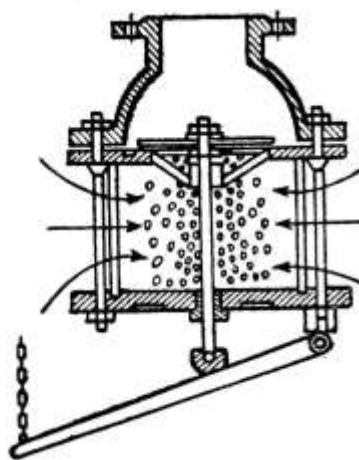
c) Setkali so'ruvchi klapan uchun (4.51-rasm) . Quvur diametriga karab, 4.25-jadvaldan aniqlanadi.

4.25-jadval

D, mm	40	70	100	200	300	500	750
$\zeta_{\text{кл.}}$	12	8,5	7,0	4,7	3,7	2,5	1,6



4.50-rasm. Teskari klapan



4.50-rasm. Setkali teskari so'ruvchi klapan

• **To'g'ri to'rtburchakli ko'ndalang kesimli quvurga o'rnatilgan sterjensimon panjara uchun (4.52-rasm)**

$$\text{Re} = \frac{v_2 a}{\nu} > 10^4$$

shart bajarilgan holatda qarshilik koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

Bunda panjaralar oqimi vertikal joylashadi deb qaraladi. Bu banddagi materiallar oqimning naporsiz harakati panjara orqali oshganda ham keng qo'llaniladi.

1. Ifloslanmagan toza panjara uchun:

a) $\frac{l}{c} = 5$; $\frac{a}{c} > 1,0$ bo'lganda $\zeta_{\text{панж}}$ Kirshmer formulasiga asosan hisoblanadi.

$$\zeta_{\text{панж}} = \frac{h_{\text{панж}}}{v_1^2 / (2g)} = K\beta_1 \left(\frac{c}{a} \right)^{4/3} \sin \theta \quad (4.222)$$

bunda, v_1 – panjaradan oldindagi tezlik; θ – gorizontga nisbatan panjara sterjenlari qiyalik burchagi; a – sterjenlar orasidagi kenglik; s – sterjenlar qalinligi; l – panjara sterjen kesimining katta qiymati; K – 1,75 ÷ 2,00 – tuzatish koefitsienti; β_1 – panjara sterjeni ko'ndalang kesimi shakliga qarab qabul qilinadigan (4.26-jadvaldan) koefitsient;

Bu koefitsientning son qiymatlari sterjenlarning xar xil o'lchamlari va shakllariga bog'liqlikda 4.53-rasmda ko'rsatib keltirilgan.

4.26-jadval

Sterjen nomerlari	1	2	3	4	5	6	7
β_1	2,34	1,77	1,77	1,00	0,87	0,71	0,73

b) l/c va a/c kattaliklarni ixtiyoriy qiymati uchun

$$\zeta_{\text{панж}} = \beta_2 \zeta' \sin \theta \quad (4.223)$$

bunda, θ – sterjen qiyalanish burchagi;

β_2 – 4.27-jadvaldan sterjen ko'ndalang kesim shakliga qarab aniqlanadi.

4.27-jadval

Sterjen nomerlari	1	2	3	4	5	6	7
β_2	1,0	0,76	0,76	0,43	0,37	0,30	0,74

ζ' – 4.28-jadvaldan ω_2/ω_1 va l/d' munosabatlarga asosan aniqlanadigan koefitsient.

4.28-jadval

$\frac{l}{d'}$	ω_2/ω_1															
	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
0	7000	1670	730	400	245	96,0	51,5	30,0	18,2	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13	0
0,2	6600	1600	687	374	230	94,0	48,0	28,0	17,4	7,70	3,75	1,87	0,91	0,40	0,13	0,01
0,4	6310	1530	660	356	221	89,0	46,0	26,5	16,6	7,40	3,60	1,80	0,88	0,39	0,13	0,01
0,6	5700	1380	590	322	199	81,0	42,0	24,0	15,0	6,60	3,20	1,60	0,80	0,36	0,13	0,01
0,8	4680	1130	486	264	164	66,0	34,0	19,6	12,2	5,50	2,70	1,34	0,66	0,31	0,12	0,02
1,0	4260	1030	443	240	149	60,0	31,0	17,8	11,1	5,00	2,40	1,20	0,61	0,29	0,11	0,02
1,4	3930	950	408	221	137	55,6	28,4	16,4	10,3	4,60	2,25	1,15	0,58	0,28	0,11	0,03
2,0	3770	910	391	212	134	53,0	27,4	15,8	9,90	4,40	2,20	1,13	0,58	0,28	0,12	0,04
3,0	3765	913	392	214	132	53,5	27,5	15,9	10,0	4,50	2,24	1,17	0,61	0,31	0,15	0,06
4,0	3775	930	400	215	132	53,8	27,7	16,2	10,0	4,60	2,25	1,20	0,64	0,35	0,16	0,08
5,0	3850	936	400	220	133	55,5	28,5	16,5	10,5	4,75	2,40	1,28	0,69	0,37	0,19	0,10
6,0	3870	940	400	222	133	55,8	28,5	16,6	10,5	4,80	2,42	1,32	0,70	0,40	0,21	0,12
7,0	4000	950	405	230	135	55,9	29,0	17,0	10,9	5,00	2,50	1,38	0,74	0,43	0,23	0,14
8,0	4000	965	410	236	137	56,0	30,0	17,2	11,1	5,10	2,58	1,45	0,80	0,45	0,25	0,16
9,0	4080	985	420	240	140	57,0	30,0	17,4	11,4	5,30	2,62	1,50	0,82	0,50	0,28	0,18
10,0	4110	1000	430	245	146	59,7	31,0	18,2	11,5	5,40	2,80	1,57	0,89	0,53	0,32	0,20

ω_1 – panjaradan oldingi quvur harakatdagi kesimi;

ω_2 – yorug‘likdagi panjarani to‘liq yuzasi;

$$d' = \frac{4\omega'}{\chi},$$

bunda, ω' – bitta panjara tirqish yuzasi;

χ' – shu tirqishning ho‘llanganlik perimetri.

2. Ifloslangan panjara (gidrotexnik inshot holat uchun)

$$(\xi_{\text{панж}})_{\text{ифл}} = \aleph' \xi_{\text{панж}}$$

$\xi_{\text{панж}}$ – birinchi banddagi holatda aniqlanadi.

$\aleph'$ (kappa) koeffitsient qiymati quyidagicha aniqlanadi.

a) panjara mashinada tozalansa:

$$\aleph' = 1,1 \div 1,3 ;$$

b) qo‘lda tozalansa:

$$\aleph' = 1,5 \div 2,0 ;$$

3. Qo‘shimcha karkasli gorizontall sterjenli xar xil panjaralar (gidrotexnik inshootlar) .

$$(\xi_{\text{панж}})_{\text{кар}} = \aleph'' (\xi_{\text{панж}})_{\text{гр}} \quad (4.224)$$

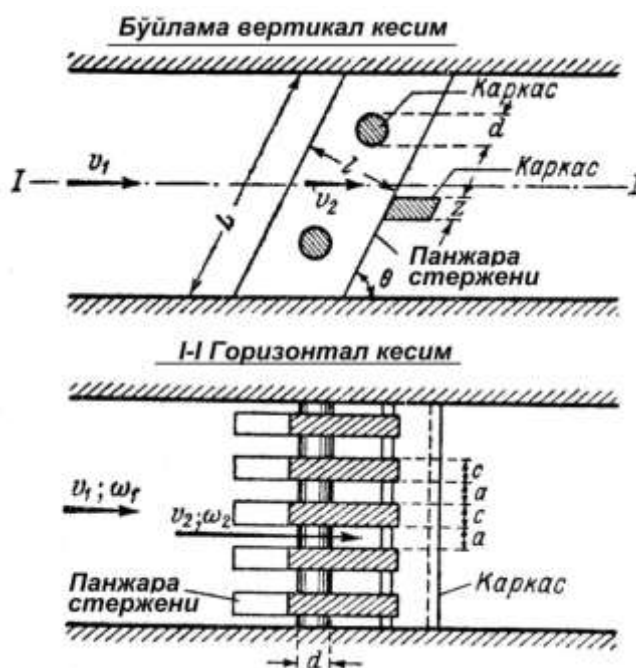
$$\aleph'' = \frac{1}{\left(1 + \frac{A}{L}\right)^2} \quad (4.225)$$

bunda, L – panjara balandligi (4.52-rasm) .

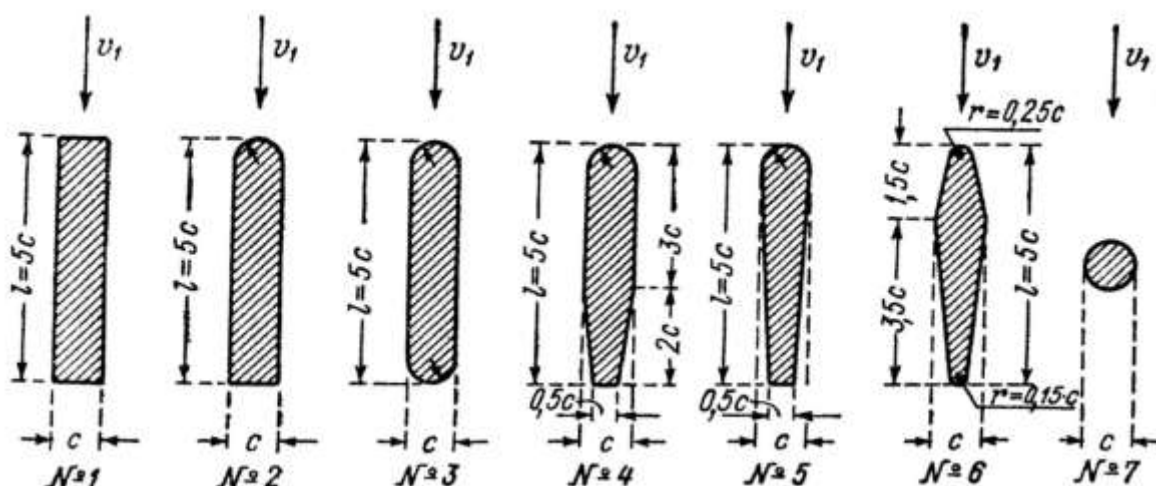
A – ko‘ndalang elementlar umumiy balandligi

$$A = n_1 d + n_2 z$$

bunda, n_1 – gorizontall elementlar soni; n_2 – o‘rtadagi tayanch balkalar soni.



4.52-rasm. Sterjenli panjara



4.53-rasm. Sterjen turlari.

Gidrotexnika amaliyotida tez-tez uchrab turadigan, $h_m = \zeta_m \frac{v_2^2}{2g}$ formula asosida hisoblashda qo'llaniladigan ζ_m mahalliy napor yo'qolishlari koeffitsienti

4.29-jadval

Mahalliy yo'qolishlar turi	ζ_m
Yon tomoni o'tkir qirrali quvurga kirish 4.36, a-rasm, konus	0,50
Yon tomoni o'tkir qirrali quvurga kirish 4.36, v-rasm	~0,20
Quvo'ring keskin kengayishi ($D_2 > D_1$; 4.36-rasm)	$\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$
Quvo'ring keskin torayishi ($D_2 < D_1$; 4.36, a-rasm)	$0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$
O'tuvchi kengayuvchi konus ($D_2 \approx 2D_1$; 4.34-rasm)	~5,0
O'tuvchi torayuvchi konus ($D_2 \approx 0,5D_1$)	~0,20
Quvo'ring keskin 90° ga burilishi	1,20
Quvo'ring sekin 90° ga burilishi	~0,15
To'liq ochilgan zadvijka (4.46-rasm)	0,15
Quvurdan chiqishda ($\omega_2 \gg \omega_1$)	1,00

IV BOBGA DOIR TEST-NAZORAT SAVOLLARI

1. To'g'ri o'zan nima va uning asosiy tenglamasi qanday ko'rinishga ega?

- Urinma kuchlanish qiymati o'zan uzunligi va ho'llanganlik perimetri bo'yicha o'zgarmas bo'lsa ($\tau_0 \approx \text{const}$), bunday o'zanlar «to'g'ri o'zanlar» deyiladi.
 $\tau_0 / \gamma = RJ$;
- Uzunlik bo'yicha harakatdagi kesimi o'zgarmas o'zanlar «to'g'ri o'zanlar» deyiladi. $\tau_0 / \gamma = RJ$;
- ($\tau_0 \neq \text{const}$), $v = CR\sqrt{J}$;
- To'g'ri javob yo'q.

2. Napor yo'qolishlarini yozing.

a) $h_f = \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}$; b) $h_f = h_l + \sum h_j$; c) $h_f = \sum h_j$; d) $h_f = h_l$.

3. Veysbax formulasini ko'rsating.

a) $h_l = \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}$; b) $h_l = \xi \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$; c) $h_l = \frac{\tau_0}{\gamma}$; d) $h_f = h_l$.

4. Shezi koeffitsientini va formulasini ko'rsating.

a) $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$; $h_l = \xi \frac{v^2}{2g}$;

b) $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$; $h_l = \xi \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}$;

c) $h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}$; $v = C\sqrt{Ri}$;

d) $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$; $v = C\sqrt{Ri}$

5. Laminar harakat tartibida gidravlik ishqalanish koeffitsienti qaysi formula bilan hisoblanadi?

a) Puazeyl formulasida; b) Darsi-Veysbax formulasida;

c) Veysbax formulasida; d) Shezi formulasida.

6. Quvurlarda harakatlanayotgan suyuqlik oqimining uzunligi bo'yicha yo'kolgan nabori qaysi formula bilan aniqlanadi?

a) Puazeyl formulasida; b) Darsi-Veysbax formulasida;

c) Veysbax formulasida; d) Shezi formulasida.

7. Suyuqlikning qanday harakat tartibida Koriolis koeffitsienti $\alpha=2$ bo'ladi?

a) Tinch holatida;

b) Laminar harakat tartibida;

c) Turbo'lent harakat tartibida;

d) Laminar va turbo'lent harakatlarda.

8. Qanday holatlarda gidravlik qarshiliklar nolga teng deb olinadi?

a) Suyuqlik oqimining laminar harakatida;

b) Qisqa quvurlarda;

c) Suyuqlik oqimining turbo'lent harakatida;

d) Suyuqlikni ideal deb faraz qilinganda.

9. Qanday quvurlarda gidravlik radius quvur radiusining yarmiga teng?

a) To'g'ri to'rtburchakli quvurlarda suyuqlik harakatlanganda;

b) Suyuqlik trapetsiadal kesimli o'zarlarda harakatlanganda;

c) Silindrik trubalarda suyuqlik ostida harakatlanganda

d) Silindrik trubalarda suyuqlik naporsiz harakatlanganda.

10. Quvo'ring keskin kengayishida yo'kolgan napor qanday formulada aniqlanadi?

a) Darsi-Veysbax formulasida;

b) Bord formulasida;

c) $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$;

d) $0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)$

11. Quvo‘rning keskin torayishida yo‘kolgan napor qanday formulada aniqlanadi?

- a) Darsi-Veysbax formulasida; b) Bord formulasida;
c) $\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$; d) $0,5\left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$

12. Turbo‘lent tarakat tartibining kvadrat qarshilik qismida gidravlik ishqalanish – Darsi koeffitsienti qaysi formula bilan hisoblanadi?

- a) Darsi-Veysbax formulasida; b) Bord formulasida;
c) Puazeyl formulasida; d) Shifrinson formulasida.

13. Quvurda laminar tartibda tekis barqaror harakatlanayotgan oqimning tezligi va maksimal tezligini yozing.

- a) $u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2); u_{\text{max}} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} Jr_0^2$;
b) $u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r_0^2 - r^2); u_{\text{max}} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} Jr_0^2$;
c) $u = \frac{\gamma}{4\eta} J(r^2); u_{\text{max}} = \frac{Q}{\nu}$;
d) $u = Q/\nu; u_{\text{max}} = \frac{1}{4} \frac{\gamma}{\eta} Jr_0^2$

14. Qanday holatda quvurda harakatlanayotgan oqimning o‘rtacha tezligi maksimal tezlikning yarmiga teng bo‘ladi?

- a) Suyuqlikni ideal deb faraz qilinganda;
b) Suyuqlikning laminar tartibdagi tekis barqarorharakatida;
c) Suyuqlikning turbo‘lenttartibdagi barqarorharakatida;
d) Suyuqlikning beqaror harakatida.

15. Quvurda turbo‘lent tartibda barqaror harakatlanayotgan oqimning o‘rtacha tezligi va maksimal tezliklari o‘rtasidagi munosabatni yozing.

- a) $\frac{u_{\text{max}}}{\nu} = 0,75 \div 0.90$; b) $\frac{\nu}{u_{\text{max}}} = 0,5$;
c) $\frac{\nu}{u_{\text{max}}} = 0,20$; d) $\frac{\nu}{u_{\text{max}}} = 0,75 \div 0.90$;

16. Laminar qatlam nima?

- a) Quvur devori yaqinidagi suyuqlik oqimi o‘rtalashtirilgan tezligining nihoyatda kichik miqdori hisobiga laminar tartibdagi harakati mavjud bo‘lgan qatlam (δ) ;
b) Quvur markazi yaqinidagi suyuqlik oqimi o‘rtalashtirilgan tezligining nihoyatda katta miqdori hisobiga turbo‘lent tartibdagi harakati mavjud bo‘lgan qatlam;
c) Laminar tartibda harakatlanayotgan oqim;
d) Turbo‘lent tartibda harakatlanayotgan oqim.

17. Silliq quvur nima?

- a) Laminar qatlam qalinligi g‘adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan katta bo‘lganda silliq devorlar mavjud bo‘ladi ($\delta > \Delta$) ;
b) Laminar qatlam qalinligi g‘adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan kichik bo‘lganda silliq devorlar mavjud bo‘ladi ($\delta < \Delta$) ;

- c) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklariga teng bo'lganda silliq devorlar mavjud bo'ladi ($\delta \approx \Delta$);
- d) To'g'ri javob yo'q.

18. G'adir-budir quvur nima?

- a) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan katta bo'lganda g'adir-budir devorlar mavjud bo'ladi ($\delta > \Delta$);
- b) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklaridan kichik bo'lganda g'adir-budir devorlar mavjud bo'ladi ($\delta < \Delta$);
- c) Laminar qatlam qalinligi g'adir-budirlik tepalikchalari balandliklariga teng bo'lganda g'adir-budir devorlar mavjud bo'ladi ($\delta \approx \Delta$);
- d) To'g'ri javob yo'q.

19. G'adir-budir va silliq quvur tushunchalar qanday xarakterga ega?

- a) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalari doimiy xarakterga ega;
- b) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalari nisbiy xarakterga ega, chunki Reynolds sonining oshishi laminar qatlam qalinligining kamayishiga olib keladi;
- c) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalari o'suvchi xarakterga ega;
- d) G'adir-budir va silliq quvur tushunchalar kamayuvchi xarakterga ega.

20. Nikuradze va Zegjda tajribalari o'rtasidagi tafovutni izohlang.

- a) Nikuradze (λ) ni quvurlar uchun aniqlanishiga doir natijalar olgan, Zegjda to'g'ri to'rtburchak shaklli kesimga ega bo'lgan ochiq o'zanlar uchun bu kattalikni aniqlashga doir natijalar olgan;
- b) Har ikkala tadqiqotchi ham gidravlik ishqalanish – Darsi koeffitsienti (λ) ning miqdorini aniqlashga doir bir xil tajribalar o'tkazishgan;
- c) Nikuradze (λ) ni silliq quvurlar uchun aniqlanishiga doir natijalar olgan, Zegjda g'adir-budir quvurlar uchun bu kattalikni aniqlashga doir natijalar olgan.
- d) Nikuradze (λ) ni laminar tartibdagi harakat uchun aniqlagan, Zegjda esa bu kattalikni oqimning turbo'lent tartibdagi harakati uchun aniqlashga doir natijalar olgan.

21. Oqimning harakatiga ta'sir etuvchi faktorlar sifatida e'tirof etilgan o'lchov birliksiz parametrlar-sonlarni ko'rsating.

- a) Nisbiy kenglik, o'rtacha tezlikning maksimal tezlikka nisbati, gidrodinamik bosimning gidrostatik bosimga nisbati va to'liq naporning pezometrik naporga nisbati napor;
- b) Frud soni, suyuqlik og'irligining harakatiga ta'sirini ko'rsatib quyidagicha belgilanadi: $Fr = v^2 / gl$, Reynolds soni, yopishqoqlikni suyuqlik harakatiga ta'sirini ko'rsatadi va quyidagicha belgilanadi $Re = \nu l / \nu$, Eyler soni asosan harakatga ta'sirni xarakterlaydi: $Eu = \Pi'_{\Delta p} = \frac{\Delta \rho}{\rho v^2}$, Veber soni, asosan harakatga sirt taranglik kuchining ta'sirini xarakterlaydi: $We = \frac{v^2 l}{\sigma / \rho}$; Koshi soni, asosan suyuqlik harakatida tezlik kattaligini ovoz tezligiga qadar oshishi natijasida harakat o'zgarishini xarakterlaydi: $Ca = \frac{v^2}{K / \rho}$.
- c) Oqim gidrodinamik xarakteristikasi, sarf, nisbiy kenglik, solishtirma kesim energiyasi, nisbiy kenglik, nisbiy chuqurlik;
- d) Oqim gidrodinamik xarakteristikasi, sarf, nisbiy kenglik, solishtirma kesim energiyasi, kenglik va chuqurlik

V BOB.

I. SUYUQLIK OQIMINING NAPORLI QUVURLARDAGI BARQAROR HARAKATI

5.1. DASTLABKI TUSHUNCHALAR

Endi, biz, qo'zg'almas tsilindrik (aylana) shaklli kesimga ega quvurlar orqali har qanday suyuqlikning naporli, barqaror, turbo'lent tartibli harakati bilan tanishamiz (3.25-mavzu, 3.30-rasmdagi holat va 1^o banddagi shartlar bajarilgandagi oqim harakati). Quvo'ning ichki diametrini D , uzunligini l deb belgilab olamiz. Ko'rilayotgan oqimning gidravlik elementlari quyidagilardir:

$$\omega = \frac{\pi D^2}{4}; \quad \chi = \pi D; \quad R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{D}{4} \quad (5.1)$$

chunki,

$$R = \frac{\pi D^2}{4} : \pi D = \frac{D}{4}$$

Bundan keyin quyidagi asosiy tenglamalardan foydalanamiz:

- 1) uzluksizlik tenglamasi – sarf muvozanati tenglamasi;
- 2) Bernulli tenglamasi – solishtirma energiya muvozanati tenglamasi;
- 3) naporni aniqlash tenglamalari.

Shuni ta'kidlash kerakki, bundan buyon biz, asosan, kvadrat qarshiliklar sohasi mavjud bo'lgan oqimlarning quvurlardagi harakati bilan tanishamiz.

Kvadrat qarshiliklar sohasi va tekis o'zanlar sohasi uchun quvurlarni hisoblash faqat naporni aniqlashda Shezi formulasi o'rniga Darsi-Veysbax formulasidan foydalanish bilan farq qiladi.

5.2. NAPOR YO'QOLISHINI ANIQLASHDA FOYDALANILADIGAN IFODALAR

Umuman, quvurlarning gidravlik hisobida ikki xil holatni hisobga olish kerak.

1-holat. Mahalliy yo'qolishlar yo'q yoki ularning kattaligi umumiy yo'qolgan naporning 5 foizdan kam qismini tashkil etganligi uchun ularni hisobga olmaslik mumkin.

Bunday holatda, faqat, naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi mavjud bo'lib, uni sarf moduli orqali ifodalash mumkin.

$$\boxed{h_l = \frac{Q^2}{K^2} l} \quad (5.2)$$

bunda,

$$J = \frac{Q^2}{K^2} \quad (5.3)$$

Bizga ma'lumki, naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi Darsi-Veysbax formulasiga asosan quyidagicha aniqlanadi:

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

bundan o'rtacha qiymat tezligini aniqlasak, $D = 4R$

$$v^2 = \frac{h_l}{l} \frac{4R2g}{\lambda}$$

bunda

$$\frac{h_l}{l} = J$$

J – gidravlik qiyalik, demak,

$$v^2 = J \frac{2g4R}{\lambda}$$

yoki

$$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{RJ}$$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \left(\frac{M^{0,5}}{cek} \right)$$

deb belgilanib, bu koeffitsient Shezi koeffitsienti deb atalishi bizga yuqoridagi mavzulardan ma'lum.

Aylanaquvurlar uchun sarf modulining kvadrati – K^2 kattaligini yozamiz:

$$K^2 = \omega^2 C^2 R = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)^2 C^2 \frac{D}{4} = \frac{\pi^2 C^2}{64} D^5 \quad (5.4)$$

bunda C – Shezi koeffitsienti g'adir-budirlik va gidravlik radiuslarga funktsional bog'liq kattalikdir.

$$C = f(n; R) = f\left(n; \frac{D}{4}\right) \quad (5.5)$$

$\Delta = (0,10 \div 0,15)_{mm}$ bo'lgan yangi bitumlangan (bitumlanmagan) cho'yan quvurlar uchun K sarf moduli va λ gidravlik ishqalanish koeffitsientlari qiymatlari

5.1-jadval

D, mm	$K_{min}, l/s$	$K_{min}^2, (l/s)^2$	$K_{ur}, l/s$	$K_{ur}^2, (l/s)^2$	$K_{max}, l/s$	$K_{max}^2, (l/s)^2$	λ_{min}	λ_{ur}	λ_{max}
50	12,16	147,9	12,47	156,5	12,80	163,8	0,0230	0,0242	0,0255
75	35,41	$1,254 \cdot 10^3$	36,07	$1,301 \cdot 10^3$	37,03	$1,371 \cdot 10^3$	0,0209	0,0220	0,0230
100	74,96	$5,619 \cdot 10^3$	76,16	$5,800 \cdot 10^3$	77,70	$6,037 \cdot 10^3$	0,0200	0,0208	0,0215
125	133,3	$17,769 \cdot 10^3$	135,2	$18,279 \cdot 10^3$	138,9	$19,253 \cdot 10^3$	0,0190	0,0200	0,0206
150	214,2	$45,882 \cdot 10^3$	219,3	$48,092 \cdot 10^3$	227,8	$51,893 \cdot 10^3$	0,0177	0,0191	0,0200
200	457,4	$20,921 \cdot 10^4$	474,9	$22,553 \cdot 10^4$	484,3	$23,455 \cdot 10^4$	0,0165	0,0172	0,0185
250	833,3	$69,439 \cdot 10^4$	845,7	$71,521 \cdot 10^4$	859,3	$73,840 \cdot 10^4$	0,0160	0,0165	0,0170
300	1334	$17,796 \cdot 10^5$	1352	$18,279 \cdot 10^5$	1387	$19,238 \cdot 10^5$	0,0153	0,0161	0,0165
350	1986	$39,442 \cdot 10^5$	2019	$40,764 \cdot 10^5$	2065	$42,642 \cdot 10^5$	0,0149	0,0156	0,0161
400	2801	$78,456 \cdot 10^5$	2863	$81,968 \cdot 10^5$	2924	$85,498 \cdot 10^5$	0,0145	0,0151	0,0158
450	3817	$14,569 \cdot 10^6$	3878	$15,039 \cdot 10^6$	3924	$15,398 \cdot 10^6$	0,0142	0,0148	0,0153
500	5020	$25,200 \cdot 10^6$	5096	$25,969 \cdot 10^6$	5193	$26,967 \cdot 10^6$	0,0140	0,0145	0,0150
600	8079	$65,270 \cdot 10^6$	8169	$66,733 \cdot 10^6$	8377	$70,174 \cdot 10^6$	0,0134	0,0141	0,0145
700	12008	$14,419 \cdot 10^7$	12251	$15,009 \cdot 10^7$	12596	$15,866 \cdot 10^7$	0,0128	0,0136	0,0141
800	16949	$28,727 \cdot 10^7$	17324	$30,012 \cdot 10^7$	18897	$35,710 \cdot 10^7$	0,0125	0,0132	0,0138
900	23069	$53,218 \cdot 10^7$	23627	$55,804 \cdot 10^7$	24177	$58,453 \cdot 10^7$	0,0122	0,0128	0,0134
1000	30513	$93,104 \cdot 10^7$	31102	$96,733 \cdot 10^7$	31730	$100,68 \cdot 10^7$	0,0120	0,0125	0,0130

$\Delta = (0,25 \div 1,00)_{\text{mm}}$ bo'lgan yangi bitumlanmagan cho'yan quvurlar uchun K sarf moduli va λ gidravlik ishqalanish ko'effitsientlari qiymatlari

5.2-jadval

$D, \text{ mm}$	$K_{\min}, \text{ l/s}$	$K_{\min}^2, (\text{l/s})^2$	$K_{ur}, \text{ l/s}$	$K_{ur}^2, (\text{l/s})^2$	$K_{\max}, \text{ l/s}$	$K_{\max}^2, (\text{l/s})^2$	$\lambda_{\min}$	λ_{ur}	$\lambda_{\max}$
50	8,77	76,91	9,64	92,93	11,22	125,89	0,0300	0,0410	0,0490
75	26,24	688,54	28,42	807,70	33,23	1104,2	0,0260	0,0350	0,0416
100	56,40	$3,1810 \cdot 10^3$	61,37	$3,7663 \cdot 10^3$	70,94	$5,0325 \cdot 10^3$	0,0240	0,0320	0,0380
125	102,32	$10,469 \cdot 10^3$	110,59	$12,230 \cdot 10^3$	125,93	$15,858 \cdot 10^3$	0,0230	0,0300	0,0350
150	166,53	$27,732 \cdot 10^3$	181,42	$32,906 \cdot 10^3$	204,78	$41,943 \cdot 10^3$	0,0220	0,0280	0,0330
200	359,35	$1,2913 \cdot 10^5$	391,36	$1,5288 \cdot 10^5$	429,20	$1,8421 \cdot 10^5$	0,0210	0,0255	0,0300
250	649,83	$4,2228 \cdot 10^5$	701,99	$4,9280 \cdot 10^5$	770,71	$5,9398 \cdot 10^5$	0,0200	0,0240	0,0280
300	1059,4	$11,223 \cdot 10^5$	1128,3	$12,724 \cdot 10^5$	1242,7	$15,443 \cdot 10^5$	0,0190	0,0230	0,0262
350	1588,6	$25,237 \cdot 10^5$	1684,8	$28,383 \cdot 10^5$	1878,4	$35,285 \cdot 10^5$	0,0180	0,0224	0,0252
400	2262,6	$51,194 \cdot 10^5$	2394,4	$57,312 \cdot 10^5$	2669,3	$71,252 \cdot 10^5$	0,0170	0,0215	0,0242
450	3076,7	$94,661 \cdot 10^5$	3260,9	$106,34 \cdot 10^5$	3626,3	$131,48 \cdot 10^5$	0,0168	0,0209	0,0235
500	4054,7	$16,439 \cdot 10^6$	4283,3	$18,347 \cdot 10^6$	4776,7	$22,810 \cdot 10^6$	0,0165	0,0206	0,0230
600	6570,5	$43,171 \cdot 10^6$	6860,5	$47,066 \cdot 10^6$	7662,4	$58,706 \cdot 10^6$	0,0160	0,0200	0,0221
700	9788,8	$95,824 \cdot 10^6$	10259	$105,25 \cdot 10^6$	11446	$130,99 \cdot 10^6$	0,0155	0,0192	0,0212
800	13838	$191,49 \cdot 10^6$	14543	$211,47 \cdot 10^6$	16257	$264,29 \cdot 10^6$	0,0150	0,0185	0,0207
900	18759	$351,91 \cdot 10^6$	20035	$401,36 \cdot 10^6$	22053	$445,59 \cdot 10^6$	0,0147	0,0178	0,0203
1000	24603	$605,31 \cdot 10^6$	26704	$713,10 \cdot 10^6$	28895	$834,92 \cdot 10^6$	0,0145	0,0170	0,0200

Bu kattalik kvadrat qarshilikkacha bo'lgan soha uchun quyidagicha aniqlanishi mumkinligi bizga ma'lum:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = f(\Delta_r) = f\left(\frac{\Delta}{D}\right) \quad (5.6)$$

G'adir-budirliigi $\Delta = 1,0 \div 1,5$ mm li foydalanishda bo'lgan eski cho'yan quvurlar uchun K sarf moduli va λ gidravlik ishqalanish ko'effitsientlari.

5.3-jadval

$D, \text{ mm}$	$K_{\min}, \text{ l/s}$	$K_{\min}^2, (\text{l/s})^2$	$K_{ur}, \text{ l/s}$	$K_{ur}^2, (\text{l/s})^2$	$K_{\max}, \text{ l/s}$	$K_{\max}^2, (\text{l/s})^2$	$\lambda_{\min}$	λ_{ur}	$\lambda_{\max}$
50	8,13	66,10	8,43	71,07	8,77	76,91	0,0490	0,0530	0,0570
75	24,18	584,67	24,69	609,60	26,24	688,54	0,0416	0,0470	0,0490
100	52,41	$2,7468 \cdot 10^3$	53,90	$2,9052 \cdot 10^3$	56,40	$3,1810 \cdot 10^3$	0,0380	0,0416	0,0440
125	95,23	$9,0687 \cdot 10^3$	98,22	$9,6472 \cdot 10^3$	102,32	$10,469 \cdot 10^3$	0,0350	0,0380	0,0404
150	155,48	$24,162 \cdot 10^3$	160,62	$25,799 \cdot 10^3$	166,53	$27,732 \cdot 10^3$	0,0330	0,0356	0,0380
200	336,59	$1,1329 \cdot 10^5$	346,36	$1,1997 \cdot 10^5$	359,35	$1,2913 \cdot 10^5$	0,0300	0,0323	0,0342
250	607,73	$3,6934 \cdot 10^5$	627,74	$3,9406 \cdot 10^5$	649,83	$4,2228 \cdot 10^5$	0,0280	0,0300	0,0320
300	990,26	$9,8062 \cdot 10^5$	1017,8	$10,359 \cdot 10^5$	1059,4	$11,223 \cdot 10^5$	0,0262	0,0284	0,0300
350	1491,0	$22,231 \cdot 10^5$	1534,6	$23,550 \cdot 10^5$	1588,6	$25,237 \cdot 10^5$	0,0252	0,0270	0,0286
400	2124,8	$45,148 \cdot 10^5$	2195,5	$48,202 \cdot 10^5$	2262,6	$51,194 \cdot 10^5$	0,0242	0,0257	0,0275
450	2911,7	$84,780 \cdot 10^5$	2980,9	$88,858 \cdot 10^5$	3076,7	$94,661 \cdot 10^5$	0,0235	0,0250	0,0262
500	3851,3	$14,833 \cdot 10^6$	3954,0	$15,634 \cdot 10^6$	4054,7	$16,439 \cdot 10^6$	0,0230	0,0242	0,0255
600	6278,2	$39,415 \cdot 10^6$	6415,0	$41,152 \cdot 10^6$	6570,5	$43,171 \cdot 10^6$	0,0221	0,0232	0,0242
700	9370,0	$87,797 \cdot 10^6$	9531,2	$90,840 \cdot 10^6$	9788,8	$95,824 \cdot 10^6$	0,0212	0,0224	0,0232
800	13213	$174,59 \cdot 10^6$	13487	$181,91 \cdot 10^6$	13838	$191,49 \cdot 10^6$	0,0207	0,0218	0,0227
900	17971	$322,96 \cdot 10^6$	18297	$334,78 \cdot 10^6$	18759	$351,91 \cdot 10^6$	0,0203	0,0212	0,0221
1000	23731	$563,16 \cdot 10^6$	24175	$584,43 \cdot 10^6$	24603	$605,31 \cdot 10^6$	0,0200	0,0207	0,0215

(5.6) formuladan ko'rinib turibdiki, sarf moduli quvo'ning diametri va g'adir-budirlikiga funktsional bog'liqdir. Ma'lum bir g'adir-budirlikka ega cho'yan

quvurlar uchun esa bu kattalik faqat quvur diametriga funktsional bog‘liq. Shu holatni hisobga olgan holda, cho‘yan quvurlar uchun sarf modulini quvur diametriga asosan aniqlash uchun 5.1, 5.2, 5.3-jadvallar keltirilgan. Shuni yodda tutish kerakki, har qaysi cho‘yan quvur ma’lum sarf moduli qiymatiga ega. Agar D – diametr ma’lum bo‘lsa, K va K^2 kattaliklarni aniqlab, (5.2) formuladan foydalanib, h_f –napor yo‘qolishini hisoblash mumkin. h_l , K , l –kattaliklar ma’lum bo‘lsa, sarfni hisoblashimiz mumkin va xokazo.

2-holat. Agar mahalliy napor yo‘qolishlari mavjud bo‘lsa, bunda naporni uzunlik bo‘yicha yo‘qolishi Darsi-Veysbax formulasiga asosan aniqlanadi.

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (5.7)$$

Gidravlik ishqalanish koeffitsienti (λ) kattaligini aniqlash bizga yuqorida tanishgan mavzularimizdan ma’lum. Mahalliy napor yo‘qolishi esa, Veysbax formulasiga asosan aniqlanadi:

$$h_m = \zeta_m \frac{v^2}{2g} \quad (5.8)$$

bunda, ζ_m – mahalliy qarshilik koeffitsienti bo‘lib, uning asosiy qiymati asosan maxsus tajribalar o‘tkazish yo‘li bilan aniqlanadi. Biz, bu tajribalar natijasi asosida tuzilgan jadvallarni yuqoridagi mavzularda keltirganmiz.

5.3. NAPOR YO‘QOLISHINING YIG‘INDICINI ANIQLASH. TO‘LIQ QARSHILIK KOEFFITSIENTI. UZUN VA QISQA QUVURLAR HAQIDA TUSHUNCHA

Faraz qilaylik, quvurlar tizimi berilgan bo‘lib (5.1-rasm) , uning uzunligi bo‘ylab harakatiga to‘sqinlik qiluvchi o‘zgarishlar mavjud. Masalan, burilish, kran, keskin kengayish, panjara, siqilish va xokazolar. Bo‘lar orasidagi masofani ($20 \div 30$) D munosabatdan katta deb hisoblaganligimiz sababli, ularning bir-biriga ta’siri yo‘q.

1-1 va 2-2-kesimlar orasidagi to‘liq napor yo‘qolishini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$h_f = h_l + \sum h_m$$

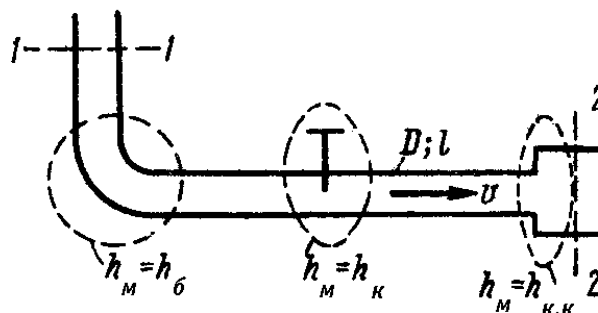
Har bir hadni alohida-alohida ko‘rib chiqamiz.

1. Mahalliy napor yo‘qolishlari h_m quyidagiga teng.

$$\sum h_m = h_o + h_k + h_{k.k} \quad (5.9)$$

bunda, h_o – burilishdagi yo‘qolish, h_k – kran o‘rnatilgan sohadagi yo‘qolish, $h_{k.k}$ – keskin kengayishdagi yo‘qolish.

Veysbax formulasiga asosan:



5.1-rasm. Napor yo‘qolishi yig‘indisini aniqlash. ($D = const$ holat uchun)

$$h_{\delta} = \zeta_{\delta} \frac{v^2}{2g}; \quad h_{\kappa} = \zeta_{\kappa} \frac{v^2}{2g}; \quad h_{\kappa,\kappa} = \zeta_{\kappa,\kappa} \frac{v^2}{2g}$$

Demak,

$$\sum h_m = (\zeta_{\delta} + \zeta_{\kappa} + \zeta_{\kappa,\kappa}) \frac{v^2}{2g} \quad (5.10)$$

yoki, umumiyko‘rinishda:

$$\sum h_m = \frac{v^2}{2g} \sum \zeta_m \quad (5.11)$$

bunda, $\sum \zeta_m$ - mahalliy qarshilik koeffitsientlari yig‘indisi.

2. *Naporning uzunlik bo‘yicha yo‘qolishi* – h_l . Bu kattalik Darsi-Veysbax formulasiga asosan aniqlanadi:

$$\frac{\lambda l}{D} = \zeta_l \quad (5.12)$$

$$h_l = \zeta_l \frac{v^2}{2g} \quad (5.13)$$

bunda, ζ_l – uzunlik bo‘yicha qarshilik koeffitsienti deb ataladi.

3. *To‘liq napor yo‘qolishi* - h_f :

$$h_f = \zeta_l \frac{v^2}{2g} + \sum \zeta_m \frac{v^2}{2g} \quad (5.14)$$

yoki

$$h_f = (\zeta_l + \sum \zeta_m) \frac{v^2}{2g} \quad (5.15)$$

Agar

$$\boxed{\zeta_f = \zeta_l + \sum \zeta_m} \quad (5.16)$$

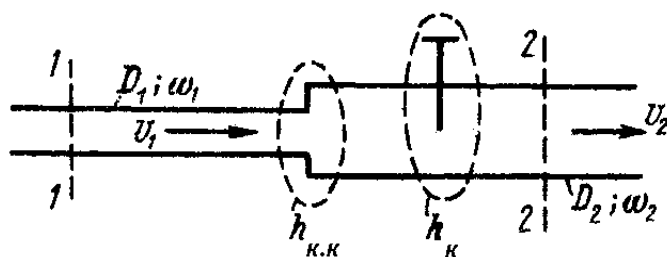
deb belgilash kiritsak,

$$\boxed{h_f = \zeta_f \frac{v^2}{2g}} \quad (5.17)$$

bunda, ζ_f – to‘liq qarshilik koeffitsienti deb nomlanadi.

Demak, yuqorida keltirilgan ζ_m , ζ_l va ζ_f koeffitsientlar yordamida har qanday napor yo‘qolishi tezlik napori orqali ifodalanishi mumkin.

Quvurlar tizimida diametr o‘zgaruvchan bo‘l-gan holat. Faraz qilaylik, turli o‘lchamli quvurlar tizimida (5.2- rasm) napor-



5.2-rasm. Napor yo‘qolishining yig‘indisi
($D \neq const$ holat uchun)

ning yo‘qolishini aniqlash kerak.

Yuqorida quvur diametri doimiy bo‘lganda (5.10) va (5.15) ifodalarda napor yo‘qolishi (h_l)ni oqimning o‘rtacha tezligi orqali ifodalab, tezlik naporini qavs ishorasidan tashqariga olgan edik.

Mahalliy napor yo‘qolishi ikki xil tezlik naporini orqali ifodalanadi. Birinchi keskin kengayishdagi napor yo‘qolishi v_1 tezlik orqali, ikkinchi kranda mahalliy yo‘qolish v_2 tezlik orqali aniqlanadi.

$$\sum h_m = (\zeta_{\kappa,\kappa})_1 \frac{v_1^2}{2g} + (\zeta_{\kappa})_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (5.18)$$

Oqimning uzluksizlik tenglamasiga asosan,

$$v_1 = v_2 \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (5.19)$$

Demak,

$$(\zeta_{\kappa,\kappa})_1 \frac{v_1^2}{2g} = (\zeta_{\kappa,\kappa})_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = (\zeta_{\kappa,\kappa})_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (5.20)$$

bunda,

$$(\zeta_{\kappa,\kappa})_2 = (\zeta_{\kappa,\kappa})_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \quad (5.21)$$

deb, belgilash kiritamiz.

Demak, $\sum h_m$ ifodaga kiruvchi hamma hadlarni bitta tezlik qiymati orqali ifodalash imkoniyati mavjud ekan.

«Uzun» va «qisqa» quvurlar tizimi xaqida tushuncha.

Umuman, amaliyotda uchraydigan suv o‘tkazuvchi quvurlarda yo‘qoladigan uzunlik bo‘yicha napor miqdori – mahalliy napor yo‘qolishlariga nisbatan nihoyatda katta qiymatga ega bo‘lib, bunda, mahalliy napor yo‘qolishlarini hisobga olmaslik mumkin. Bunda holatda, qaralayotgan tizimdagi mahalliy yo‘qolishlarning umumiy miqdori uzunlik bo‘yicha napor yo‘qolishlarining 5% dan kam qismini tashkil qiladi, yani $h_m < 5\%(h_l)$, bunda

$$h_f \approx h_l$$

deb qabul qilinadi va quvurlar tizimi *uzun quvurlar tizimi* deyiladi.

Magistral suv uzatish quvurlar tizimi bunga misol bo‘lishi mumkin. (200-500 mm diametrli 200-1000 m bo‘lgan quvurlar tizimi) . Uzun quvurlar tizimida pezometrik va to‘liq napor chiziqlarini chizishda tezlik naporini kichik qiymatga ega bo‘lganligi uchun inobatga olinmaydi va ular o‘zaro ustma-ust tushadi. Agar naporning mahalliy yo‘qolishi uzunlik bo‘yicha yo‘qolishining 3-5% dan ko‘p qismini tashkil etsa, albatta, $\sum h_m$ – mahalliy yo‘qolishni hisobga olishga to‘g‘ri keladi, yani:

$$h_f = h_l + \sum h_m$$

Bunday quvurlar tizimi *qisqa quvurlar tizimi* deyiladi. Shahar suv ta'minot tizimining iste'mol hududi – qisqa quvurlar tizimiga misol bo'ladi. Bundan tashqari, nasos stantsiyalarining so'rish quvurlari, dyuker – gidrotexnik inshooti, sifon tizimlari ham shular jumlasidandir.

A. QISQA QUVURLAR TIZIMI

5.4. O'ZGARMAS DIAMETRLI SODDA QISQA QUVURLAR TIZIMI

Bizga ma'lumki, yon tomonlarga qisman ajralishi bo'lmagan quvurlar tizimi sodda quvurlar tizimi deyiladi.

Qisqa quvurlar tizimining gidravlik hisobida suyuqlik oqimining chiqishi suyuqlik satxi ostiga va ochiq atmosferaga qarab ayrim o'ziga xos tomonlari bo'lishi mumkin. Har qaysi holat bilan aloxida tanishamiz.

1⁰. Suyuqlik oqimining satx ostiga chiqishi (5.3, a-rasm) . Bunda biz suyuqlik oqimining o'rtacha tezligi v vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydigan barqaror harakati mavjud bo'lgan holat bilan tanishamiz. Quvur orqali tutashgan A va V idishlardagi suyuqlik satxlari farqi z ga teng deb qabul qilamiz. Suyuqlik A idishga oqib kirib, V idishdan chiqib ketmoqda.

Quvurda harakatlanayotgan oqim sarfini hisoblaymiz. Buning uchun Bernulli tenglamasidan foydalanamiz.

1) 1-1 va 2-2 kesimlarni tanlab olib, hisoblash uchun qulay vaziyatdan taqqoslash 00 tekisligini o'tkazamiz (5.3, a-rasm) .

2) tenglamaning umumiy ko'rinishini yozib olib, unga kiruvchi har bir had bilan alohida tanishamiz.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f \quad (5.22)$$

Tenglamada

$$z_1 = Z; v_1 = v_A = 0; p_1 = p_2 = p_a; z_2 = 0; \alpha \approx 1,0 \quad (5.23)$$

Demak,

$$Z = h_f \quad (5.24)$$

bunda,

$$h_f = \zeta_f \frac{v^2}{2g} \quad (5.25)$$

bunda, h_f – quvur uchun to'liq qarshilik koeffitsienti.

$$Z = \zeta_f \frac{v^2}{2g} \quad (5.26)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} \sqrt{2gZ} \quad (5.27)$$

Bundan, oqim sarfini hisoblash formulalarini yozishimiz mumkin:

$$Q = \omega v = \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} \sqrt{2gZ} \quad (5.28)$$

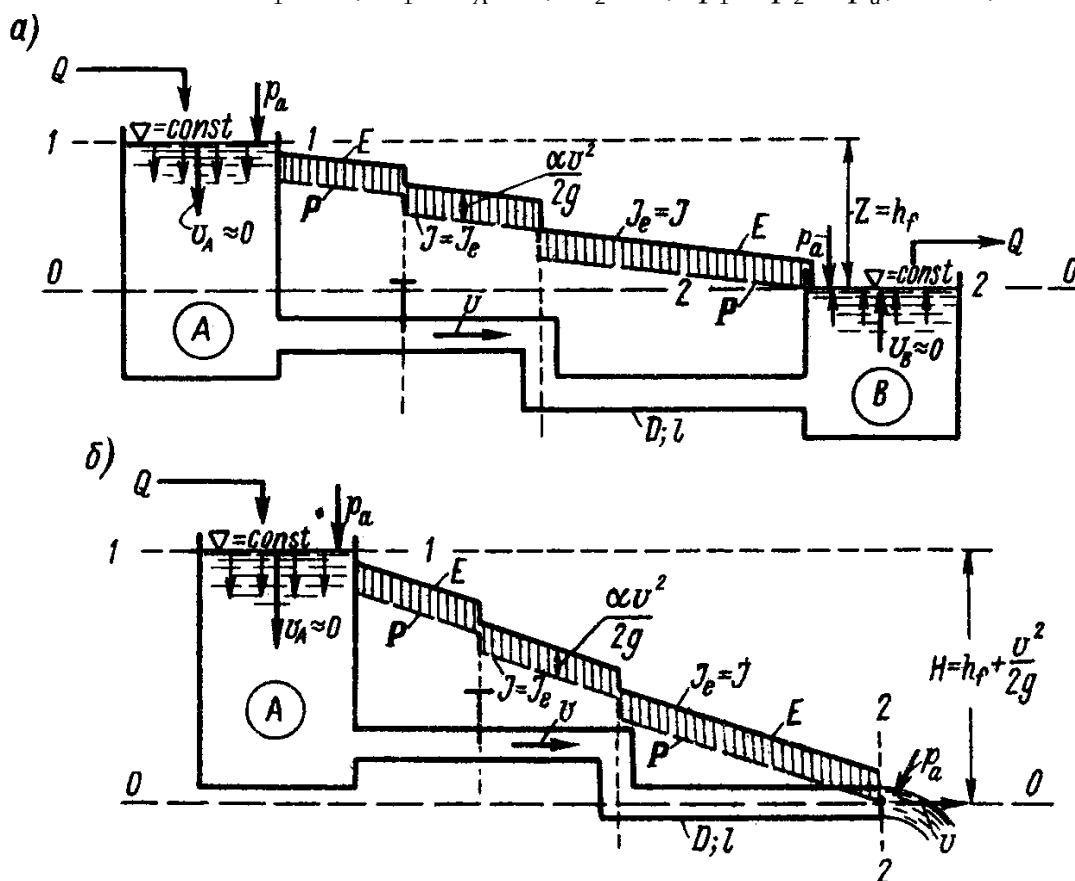
2^o. **Oqimning atmosferaga chiqishi** (5.3, b-rasm) . Bunday holatda ham oqimning barqaror harakati ($v=const$, $N=const$) bo'lgan holat mavjud deb qaraymiz. Bunda $N - A$ idishning chiqish teshigi markazidan suyuqlik satxigacha bo'lgan masofa.

Bu holatda ham ma'lum qoidalar asosida 1-1 va 2-2 kesimlar tanlanib, 00 taqqoslash tekisligini o'tkazamiz.

Endi 1-1 va 2-2 kesimlar uchun 00 taqqoslash tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f \quad (5.29)$$

$$z_1 = H; \quad v_1 = v_A = 0; \quad v_2 = v; \quad p_1 = p_2 = p_a; \quad \alpha = 1,0$$



5.3-rasm. Qisqa quvurlar
a) oqimning satx ostiga chiqishi
b) oqimning atmosferaga chiqishi

Demak, tenglamani quyidagi ko'rinishda yozi bolishimiz mumkin:

$$H = h_f + \frac{v^2}{2g} \quad (5.30)$$

Yoki

$$H = \zeta_f \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g} = (\zeta_f + 1) \frac{v^2}{2g} \quad (5.31)$$

bundan,
$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} \sqrt{2gH} \quad (5.32)$$

Oqimning uzluk sizlik tenglamasiga asosan,

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} \sqrt{2gH} \quad (5.33)$$

3^o. Asosiy hisoblash formulalari. Bu formulalarni quyidagi ko‘rinishda yozishimiz mumkin:

$$Q = \mu_k \omega \sqrt{2gZ} \quad (5.34')$$

$$Q = \mu_k \omega \sqrt{2gH} \quad (5.34'')$$

bunda, μ_k – quvurlar tizimining sarfkoeffitsienti deb atalib, quyidagicha aniqlanadi.

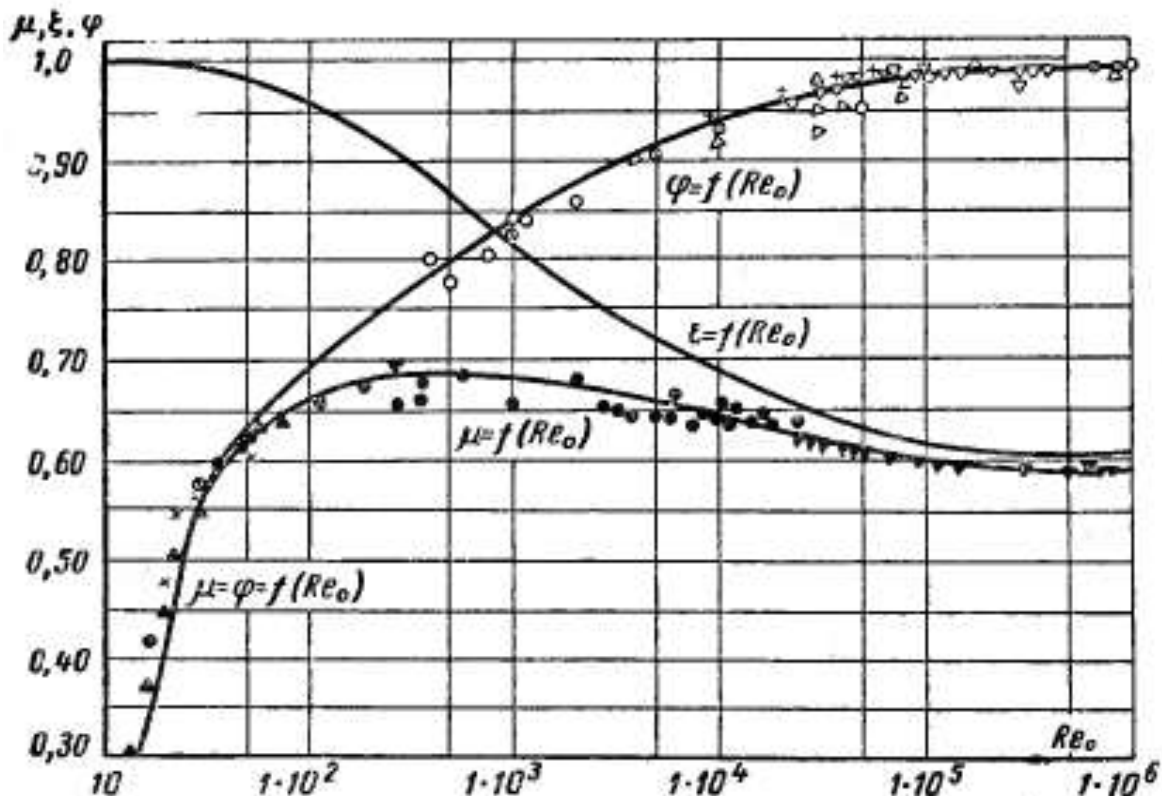
a) oqim satx ostiga chiqqan holda

$$\mu_k = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_l + \sum \zeta_M}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}} \quad (5.35)$$

b) oqim atmosferaga chiqqan holda

$$\mu_k = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}} \quad (5.36)$$

μ_k – quvurlar tizimining sarfkoeffitsienti asosan tatqiqotlar yuli bilan aniqlanadimasalan Altshul grafigi yordamida aniqlash mumkin:



5.5. QISQA QUVURLARDAGI ASOSIY HOLATLAR. SIFON, NASOSNING SO‘RUVCHI QUVURI VA DYUKER

Sifon – suyuqlik satxlari farqi hisobiga bir rezervuardan ikkinchi rezervuarga suyuqlikni o‘z-o‘zidan harakatlantiruvchi quvur (5.4-rasm) .

Agar 5.4-rasmdagi quvur suyuqlik bilan to‘ldirilsa, unda yuqorigi idishdan pastki idishga suyuqlikning oqishi kuzatiladi. Suyuqlikning quvur bo‘ylab oqishini quyidagicha izohlash mumkin:

Quvurda n - n kesimni olamiz va ushbu kesimni suyuqlik sathidan yuqorida chap tomondagi idishda – h' va o‘ng tomondagi idishda h'' orqali belgilaymiz. Agar sifondagi suyuqlikni tinch holatda deb qabul qilsak, unda quyidagicha yozish mumkin:

a) n - n kesimdan chap tomondagi bosim

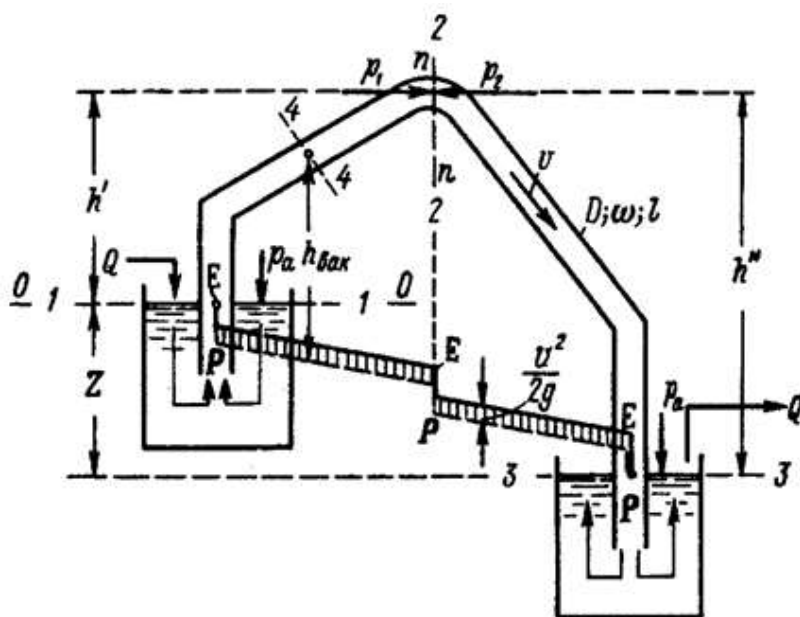
$$p_1 = p_a + (-h'\gamma) \quad (5.37)$$

b) n - n kesimdan o‘ng tomondagi bosim

$$p_2 = p_a + (-h''\gamma) \quad (5.38)$$

bunda, $(-h')$ va $(-h'')$ n - n kesimga tegishli suyuqlik sathidan pastda paydo bo‘lgan idishdagi pastliklar (bu pastliklar manfiy hisoblanadi) .

Demak, $p_1 > p_2$ bu holat quvurdagi suyuqlikning tinch holatda bo‘lmasligini ko‘rsatadi, suyuqlik chapdan o‘ngga qarab harakatlanadi, ya‘ni bosim kam bo‘lgan tomonga harakatlanadi.



5.4-rasm. Sifon

Sifondagi suyuqlikning barqarorlashgan harakatini ko‘rib chiqamiz: $Z = const$. 1-1 va 3-3 kesimlarni belgilaymiz. bu ikkala kesimni bernulli tenglamasi orqali yozamiz va quvurdagi Q suv sarfini (5.34') va (5.35) bog‘liqliklarga asosan aniqlaymiz.

Sifonning o‘ziga xos holati bu unda vakuumning mavjudligi. vakuumning eng katta qiymati quvo‘rning eng baland qismida, ya‘ni n - n kesimida kuzatiladi.

Sifondagi vakuumning maksimal qiymati $(h_{\text{бак}})_{\text{max}}$ ni aniqlaymiz. shu maqsadda $n-n$ va 2-2 hamda 1-1 va 2-2 kesimlar uchun 00 taqqoslash tekisligiga nisbatan bernulli tenglamasini yozamiz (00 taqqoslash tekislikni chap tomondagi idishdagi suyuqlik sathi orqali o'tkazamiz) :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h'_f \quad (5.39)$$

bunda

$$z_1 = 0; z_2 = h'; \frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma}; \frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_n}{\gamma}; \frac{\alpha v_1^2}{2g} \approx 0; \frac{\alpha v_2^2}{2g} \approx \frac{v^2}{2g} \quad (5.40)$$

bunda, v – quvurdagi tezlik, p_n – $n-n$ kesimdagi bosim.

1-1 va 2-2 kesim orasidagi napor yo'qolishini oddiy tenglama orqali ifodalaymiz:

$$h'_f = \zeta'_f \frac{v^2}{2g} \quad (5.41)$$

bunda, ζ'_f butun quvurdagi emas, faqat 1-1 va 2-2 kesimi orasidagi napor yuqolishini hisobga oluvchi to'liq qarshilik koeffitsienti.

(5.40) va (5.41) ifodalarni (5.39) ifodaga qo'yisak, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{p_a}{\gamma} = h' + \frac{p_n}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \zeta'_f \frac{v^2}{2g} \quad (5.42)$$

yoki

$$\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_n}{\gamma} = h' + (1 + \zeta'_f) \frac{v^2}{2g} \quad (5.43)$$

bundan

$$\frac{p_a}{\gamma} - \frac{p_n}{\gamma} = (h_{\text{бак}})_{\text{max}} \quad (5.44)$$

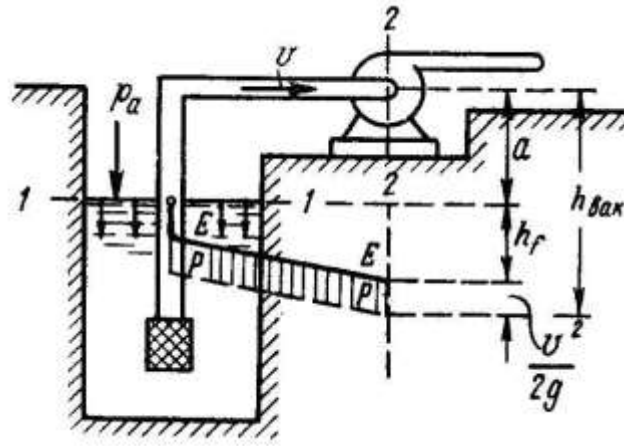
bo'lsa,

$$(h_{\text{бак}})_{\text{max}} = h' + (1 + \zeta'_f) \frac{v^2}{2g} \quad (5.45)$$

(5.45) ifodadan foydalangan holda, quvo'rning xohlagan nuqtasidagi vakuumni aniqlash mumkin. shu holatda (5.45) ifodada h' qiymati orqali faqat 4-4 kesimning chap tomonidagi suyuqlik sathidan ustunligini va ζ'_f qiymati orqali 1-1 va 2-2 kesim orasidagi napor yo'qolishini tushunish kerak.

Nasosning so'ruvchi quvuri deb, nasosning suyuqlikni havzadan so'rib oluvchi quvuriga aytiladi (5.5-rasm) . Nasosning so'ruvchi quvurida ham sifon kabi vakuum mavjud bo'ladi.

Vakuumning eng katta qiymati nasosning oldi qismida, ya'ni, ishchi g'ildirakda kuzatiladi (2-2 kesimda). Bu vakuum qiymati havzadagi suyuqlik sathi orqali o'tkazilgan 1-1 va 2-2 kesimlar uchun Bernulli tenglamasi orqali aniqlanadi.



5.5-rasm. Nasosning so'ruvchi quvuri

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f$$

$$z_1 = 0; \quad p_1 = p_a; \quad v_1 = 0;$$

$$z_2 = a; \quad p_2 = p_b; \quad v_2 = v;$$

$$h_f = \zeta_f \frac{v^2}{2g}$$

Vakuumning h' qiymati o'rniga nasos o'qining havzadagi suyuqlik sathidan balandligi qiymatini, ζ'_f qiymati o'rniga esa butun quvur bo'ylab napor yo'qolishini hisobga oluvchi to'liq qarshilik koeffitsienti ζ_f qiymatini qo'yish orqali ham topsa bo'ladi:

$$0 + \frac{p_a - p_b}{\gamma} = a + \frac{v^2}{2g} + \zeta_f \frac{v^2}{2g}$$

$$(h_{\text{бак}})_{\text{nac}} = \frac{p_a - p_b}{\gamma}$$

$$(h_{\text{бак}})_{\text{nac}} = a + (1 + \zeta_f) \frac{v^2}{2g} \quad (5.46)$$

bunda, $(h_{\text{бак}})_{\text{nac}}$ – nasosning ishchi g'ildiragi oldidagi vakuum qiymati.

Agar $(h_{\text{бак}})_{\text{nac}}$ katta bo'lsa, nasosda kavitatsiya holati ro'y beradi. Bu o'z navbatida nasosning foydali ish koeffitsientini kamaytiradi va nasos lopastlari erriyosiga olib keladi.

Nasosning havzadagi suyuqlik sathidan eng yuqori o'rnatilish balandligi quyidagicha bo'ladi:

$$a_{\text{max}} = (h_{\text{бак}})_{\text{nac}} - (1 + \zeta_f) \frac{v^2}{2g}$$

Nasoslar turiga qarab, vakuumga nisbatan har xil talabga ega. Nasosning ishchi g'ildiragi oldidagi vakuum quyidagi talabga javob berishi kerak:

$$(h_{\text{бак}})_{\text{nac}} \leq 4,0 \div 6,5 \text{ m suv ustunibalandligi}$$

Ruxsat etilgan vakuumning qiymati faqatgina nasos turiga bog'liq bo'lmasdan, balki suyuqlik harorati va turiga ham bog'liq. Harorat oshishi bilan

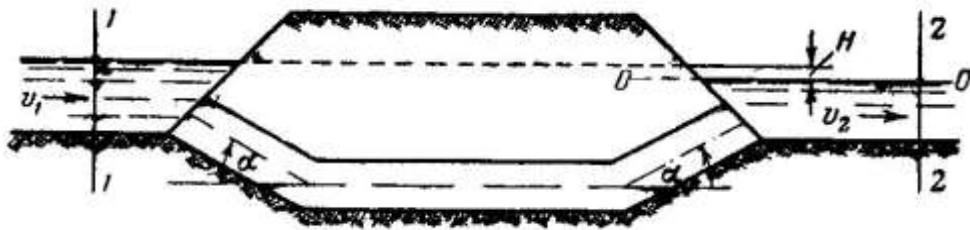
ruxsat etilgan vakuum qiymati pasayadi (harorat oshishi bilan kavitatsiya kuchayadi) . Masalan, suvning harorati 60^0 bo'lganda ruxsat etilgan vakuum manfiy qiymatga o'zgaradi (ya'ni, nasos suvdagi bosimning atmosfera bosimidan yuqori qiymatida ishlashi kerak) .

Berilgan nasosning va suyuqlikning ruxsat etilgan vakuumi $(h_{\text{bak}})_{\text{uez}}$ ma'lum bo'lsa, unda havzadagi suyuqlik sathidan eng maksimal joylashishi balandligini aniqlasa bo'ladi.

$$a_{\text{uez}} = (h_{\text{bak}})_{\text{uez}} - (1 + \zeta_f) \frac{v^2}{2g} \quad (5.47)$$

Issiq suv uchun a_{uez} qiymati manfiy bo'lishi mumkin, bu holatda nasosni suv sathidan pastda joylashtirishga to'g'ri keladi.

Dyuker– suyuqlik oqimlari harakatlanayotgan o'zanlarning o'zaro kesishganda quriladigan gidrotexnik inshootdir (5.6-rasm) .



5.6-rasm. Dyuker

Dyukerning hisoblash formulasini keltirib chiqarishda 1-1 va 2-2 kesimlar uchun 00 taqqoslash tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasidan foydalanamiz:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f$$

bunda

$$z_1 = H; \quad p_1 = p_a; \quad v_1 = v_1;$$

$$z_2 = 0; \quad p_2 = p_a; \quad v_2 = v_2; \quad h_f = \zeta_f \frac{v^2}{2g}$$

bundan

$$H + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_f \frac{v^2}{2g}; \quad H + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} = \zeta_f \frac{v^2}{2g};$$

Bunda oqimning o'rtacha tezligi quyidagiga teng:

$$v = \sqrt{\left(H + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) 2g \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}}};$$

Dyuker sarfini hisoblash formulasini aniqlash uchun oqimning uzluksizlik tenglamasidan foydalanamiz:

$$Q = \omega v = \omega \sqrt{\left(H + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) 2g \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}}}$$

bunda $\frac{1}{\sqrt{\zeta_f}}$ ifodani *sarf koeffitsienti* deb atab, uni μ harfi orqali belgilasak, dyuker sarfi quyidagi formula orqali topiladi:

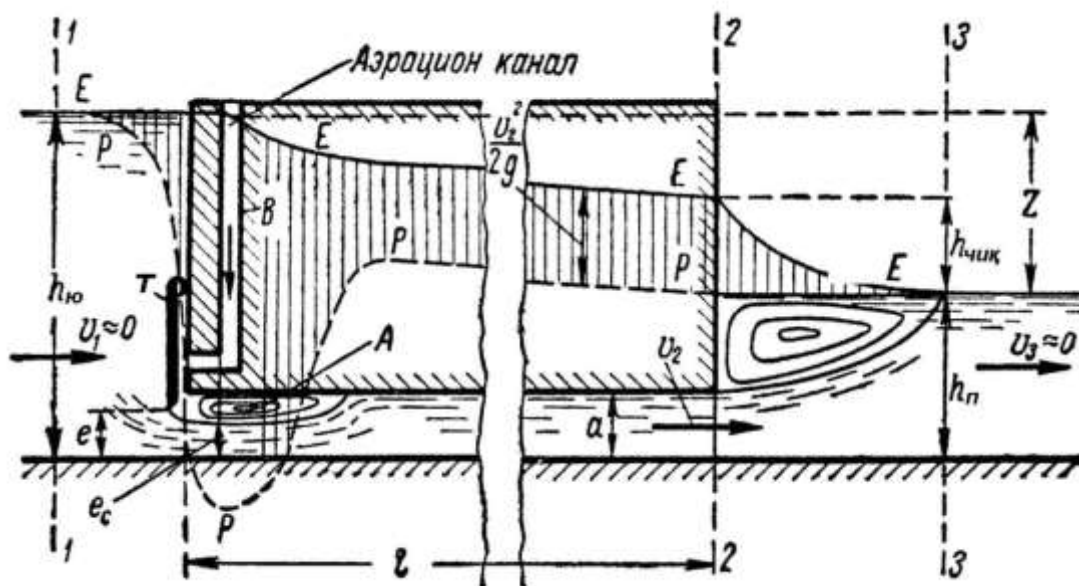
$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH + (v_1^2 - v_2^2)}$$

5.6. GORIZONTAL VA VERTIKAL HOLATDAGI SUV CHIQARUVCHI QUVURLAR. VAKUUMNING HAR XIL KO'RINISHLARI

1⁰. Naporli gorizontal quvurlar. Qayta tiklanuvchi pasayish. Naporli oqim aeratsiyasi. Bu holatda, biz istisno tariqasida aylana shakldagi emas, balki nihoyatda katta kenglikka ega to'g'ri to'rtburchak shaklidagi quvo'rni olamiz. Quvo'rning yuqori qismida T to'siq va pastki qismida kengligi b quvur kengligiga teng chiqish keskin kengayadigan qilib qurilgan deb hisoblaymiz. Bu kengliklar tengligi sababli tekis masalaga ega bo'lamiz (5.7-rasm).

Quyidagi kattaliklarni ma'lum deb hisoblaymiz: quvo'rning pastki va yuqorigi tomonlaridagi oqim chuqurliklari h_n va h_{yo} , sathlar farqi $Z = h_{yo} - h_n$, quvur balandligi b , uning uzunligi l , to'siqning ochilishi ye.

Sarf (Q) ni aniqlash talab qilinadi. Bu holatda suv sath ostiga chiqib, sodda quvurlar tizimi bo'lganligi sababli, (5.34') va (5.35) formulalardan foydalanamiz.



5.7-rasm. Naporli quvur

Quvurlar tizimining sarf koeffitsientini yozamiz:

$$\mu_k = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_l + \sum \zeta_m}}$$

bunda uzun quvur uchun:

$$\zeta = \frac{\lambda l}{4R},$$

bundan tashqari,

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}; R = \frac{ab}{2(a+b)} \approx \frac{ab}{2b} \approx \frac{1}{2}a;$$

Mahalliy napor yo‘qolishi:

$$\sum \zeta_M = \zeta_{kup} + \zeta_{chik}$$

bunda, chiqishdagi mahalliy qarshilik koeffitsienti $\zeta_{chik} = 1,0$, kirishdagi napor yo‘qolishi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\zeta_{kup} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_c} - 1 \right)^2 = \left(\frac{a}{e_c} - 1 \right)^2 = \left(\frac{a}{\varepsilon_0 e} - 1 \right)^2,$$

bunda, ε_0 – oqimchaning vertikal yo‘nalishi bo‘yicha siqilishi $\varepsilon_0 \approx 0,6$

$$\omega_c = b e_c = b \varepsilon_0 e$$

Bu formulalar yordamida μ_K kattalikni keyin (5.34') ifodadan foydalanib, sarf Q kattalik hisoblanadi.

Xuddi shu tarzda tanlash usulidan foydalanmasdan, berilgan Q va a uchun Z kattalikni hamda berilgan Q va Z uchun a kattalikni aniqlab olish mumkin.

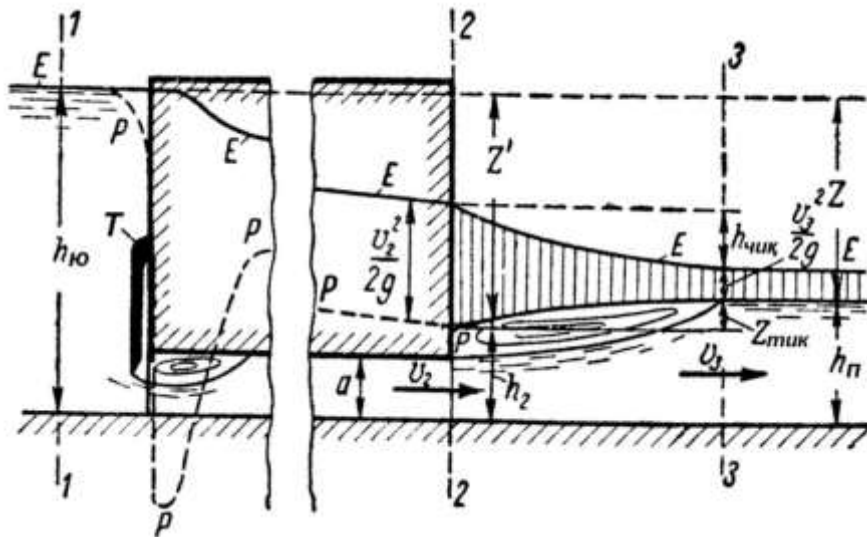
Qayta tiklanuvchi pasayish Z_{tik} . Chiqishda mahalliy yo‘qolishni aniqlash formulasiga asosan, oqim katta o‘lchamli havzalarga chiqayotganda $v_3 \approx 0$ deb qabul qilinib, quvurdagi butun tezlik napori yo‘qoladi:

$$\frac{v_2^2}{2g} = h_{chik} \quad (5.48)$$

Biz bunday vaziyat bilan $\zeta_{chik} = 0$, h_n quvur balandligi (a) ga nisbatan nihoyatda kattabo‘lgan holatda duch kelganimiz.

h_n quvur balandligi (a) ga nisbatan unchalik katta bo‘lmagan holatda $v_3 \neq 0$ chiqishdagi napor yo‘qolishi koeffitsienti $\zeta_{chik} < 1,0$ bo‘lib, quvurdagi tezlik napori butunlay yo‘qoladi, ya’ni napor yo‘qolishiga sarf bo‘ladi.

5.8-rasmda bu oxirgi holatga mos keluvchi oqimning oqib chiqishi ko‘rsatilgan.



5.8-rasm. Naporli quvur. Qayta tiklanuvchi pasayish Z_{tik}

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, (5.47') formula o‘rniga quyidagi ifoda o‘rinli bo‘ladi:

$$\frac{v_2^2}{2g} = h_{chiq} + \frac{v_3^2}{2g} + Z_{tik} \quad (5.49)$$

bunda, Z_{tik} – erkin sirtning manfiy pasayishi, ya’ni bu sirtning 2-2 va 3-3 kesimlar oralig‘idagi ko‘tarilishi. Bu kattalik 2-2 kesimdan 3-3 kesimga o‘tishida solishtirma potentsial energiyaning o‘rishini xarakterlaydi.

Demak, *chiqish kanalidagi tezlik katta qiymatga ega bo‘lganda, oqimning tezlik nabori quvurdan chiqayotganda qisman solishtirma energiya oshadi, ya’ni tiklanadi.*

Z_{tik} – erkin sirtning manfiy pasayishi *tiklanish pasayishi* deb ataladi. Yuqoridagi ifodaga asosan Bord formulasini inobatga olib, quyidagigi yozishimiz mumkin:

$$Z_{tik} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_3^2}{2g} - h_{chiq} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_3^2}{2g} - \left(1 - \frac{v_3}{v_2}\right)^2 \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_2 v_3 - v_3^2}{g} \quad (5.49)$$

Formuladan xulosa qilish mumkinki, agar $v_3 = 0$ bo‘lsa, $Z_{tik} = 0$ holat kuzatilsa, $v_3 > 0$ bo‘lganda, $Z_{tik} > 0$, bo‘ladi.

(5.34') va (5.35) formulalardan foydalanib, sarfni aniqlashda nabor yo‘qolishi (ζ_f) ni (5.35) formulada faqat 2-2 kesimgacha oraliqdagi miqdorini hisobga olamiz. (5.34') formulaga kiruvchi Z kattalik Z' kattalikka teng deb qabul qilinadi:

$$Z' = Z + Z_{tik} \quad (5.50)$$

formula yordamida aniqlanadi. Z' kattalik 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi suv sathining farqi.

Naborli oqim aeratsiyasi. Quvo‘rning kirish qismida (5.7-rasm) intensiv bosim tebranishi va turbo‘lentlik bilan xarakterlanuvchi A suv aylanuvchi sohaga ega bo‘lamiz. Bundan tashqari, A sohada quvur devori va to‘siqda kavitatsion eroziya (emirilish) ni vujudga keltiruvchi havfli kavitatsiya paydo qiluvchi katta vakuum ham mavjud bo‘ladi.

Bosimning A sohadagi yuqori tebranishi ayrim hollarda to‘siqning vibratsiyasi (tebranishi) ga olib keladi. Bunday hollarda A sohaga favqulodda aeratsion V kanal qurilib, u orqali havo yuboriladi, to‘siq orqasida havo – suv aralashmasi paydo qilinadi va bu aralashma siqiluvchanligi sababli, vibratsiyasini kamaytiradi.

Aeratsion kanalni loyihalashtirishda uning ko‘ndalang kesimi o‘lchamlarini aniqlashga to‘g‘ri keladi. Havoning tez harakatida $v < 70 \text{ m / sek}$ havoning siqilishini hisobga olmaslik mumkin va uning harakatini hisoblashda suyuqlik uchun olingan hisobiy ifodalardan foydalaniladi. Faqat gidravlik qarshilik koefitsienti (λ) ni aniqlashda, (ν) koefitsientni qaralayotgan gaz holatidagi modda uchun olinadi.

V aeratsion kanaldan sohaga keladigan havoni harakatlantiruvchi bosimlar farqining kattaligi R-R pezometrik bosim chizmasini qurish orqali aniqlanadi.

Bundan tashqari, bu masalani o‘rganishda yetarli aeratsion bosim oqimini ta’minlovchi havo sarfining kattaligini aniqlashga to‘g‘ri keladi. Bu masala,

quvurga oqimning kirishini layihalashtirishdagi boshqa masalalar kabi gidrotexnik inshootlar qurilishi kursida mukammal o'rganiladi.

2^o. Naporli vertikal quvurlar.

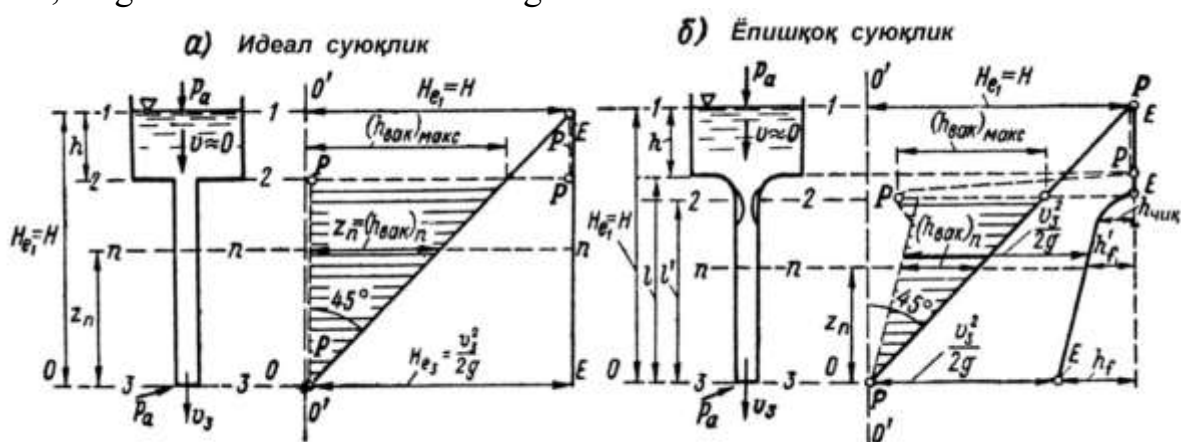
Suyuqlik oqimining ideal holatda (5.9, *a*-rasm) va yopishqoq real holatda (5.9, *b* -rasm) atmosferaga oqib chiqishini ko'rib chiqamiz.

00 taqqoslash tekisligi 3-3 chiqish kesimida belgilab olamiz. *E-E* to'liq napor va *R-R* pezometrik napor chiziqlarini quvur vertikal holatda joylashganda qurishda, ma'lum bir 0'0' vertikal tekislikdan boshlab, gorizontal yo'nalishda napor va boshqa kattaliklari chizmada ko'rsatilgandek qo'yamiz.

Real suyuqliklar uchun tezlik naporini qo'yidagicha aniqlanadi:

$$\frac{v_3^2}{2g} = H_{e1} - h_f = H - h_f \quad (5.51)$$

bunda, belgilanishlar rasmda ko'rsatilgan.



5.9-rasm . Naporli vertikal quvurlar

Gazning harakati hisoblanganda Bernulli tenglamasiga kiruvchi z kattalik inobatga olinmaydi va harakat naporlar farqi hisobiga emas, bosimlar farqi hisobiga amalga oshadi. Bu vaziyatni haqiqatga mos kelishi quyidagicha asoslangan: agar Bernulli tenglamasining barcha hadlarini γ kattalikka ko'paytirsak, γ ning kichik (gazlarga xos) qiymatlarida tenglamaning har ikkala tomonlaridagi birinchi hadlarni hisobga olmaslik mumkin. $[(z_1\gamma) \text{ va } (z_2\gamma)]$. Boshqa hadlarda $r, \left(\frac{v^2}{2} \rho \right)$

va $\left(\xi \frac{v^2}{2} \rho \right)$.

$\frac{p}{\gamma} = \frac{p}{\rho g}$ pezometrik gaz uchun qabul qilingan 5.9-rasmdagi sxemani

murakkablashtirmaslik maqsadida ideal suyuqlik oqimchani idishdan quvurga kirishdagi siqilishi ko'rsatilmagan.

(5.63) ifodadan foydalanib v_3 tezlikni aniqlashimiz mumkin. Sarf esa (5.33) formuladan foydalanib aniqlanadi. Bu quvurlar tizimi sifon kabi, vakuumning mavjudligi bilan xarakterlanadi. Ixtiyoriy *p-p* kesimdagi (5.9, *b*-rasm) vakuum kattaligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$(h_{\text{бак}})_n = z_n - \left(H - h'_f - \frac{v_3^2}{2g} \right) \quad (5.52)$$

bunda, h'_f – 1-1 kesimdan p - p kesimgacha bo'lgan oraliqda to'liq napor yo'qolishi; z_n – kattalik rasmda ko'rsatilgan.

Vakuumning maksimal kattaligi $(h_{\text{бак}})_{\text{макс}}$ 2-2 kesimda mavjud bo'ladi. Oqimchanning bu kesimdagi siqilishini inobatga olmasdan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$(h_{\text{вак}})_{\text{max}} = l + \frac{v_3^2}{2g} - H = l - h_f \quad (5.53)$$

Rasmdan ko'rinib turibdiki, quvo'ring uzunligi oshishi bilan vakuumning maksimal qiymati oshadi. $(h_{\text{вак}})_{\text{max}}$ ning katta qiymatlarida 2-2 kesim yaqinida katta hajmdagi kavitatsion sohalarga ega bo'lamiz. Bu sohalar to'yingan bug'lari bilan to'la bo'ladi. Bu sohada $p_{m.0}$ – bosim mavjud bo'ladi.

Bu 2-2 kesimda oqimchalar uziladi va bu uzilishlar to'yingan bug'lar bilan to'ladir.

Kavitatsion uzilishlar shunday nuqtalarda paydo bo'ladiki, bu nuqtalarda tebranma vakuum hisobiga bosim $p_{t.b}$ to'yingan bug'lar bosimiga teng miqdorgacha pasayadi.

Quvo'ring chegaraviy maksimal uzunligi yuqorida qayd qilingan uzilishning yo'qligi bilan xarakterlanadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$l_{\text{чег}} = H + (h_{\text{вак}})_{\text{чег}} - \frac{v_3^2}{2g} \quad (5.54)$$

bunda, $(h_{\text{вак}})_{\text{чег}}$ – 2-2 kesimda oqimga uzilishi bo'lmagan holatda mavjud bo'lishi mumkin bo'lgan ruxsat etiladigan vakuum.

(5.53) formulaga asosan quvur uzunligi (bunga mos ravishda N kattalik) oshishi bilan Q sarf oshadi. Sarfning maksimal Q_{max} qiymatida l uzunlikka erishib, bu uzunlik $l_{\text{чег}}$ dan bir necha marotaba katta bo'ladi va bu qiymatda oqim harakatida uzilish paydo bo'ladi hamda h napor ta'sirida oqimning idishdan atmosferaga chiqishi amalga oshib, 2-2 kesimdagi bosim $p_{t.b}$ qiymatga teng bo'ladi. l uzunlikning keyingi o'zgarishlarida $Q_{\text{max}} = \text{const}$ bo'lib qoladi.

Mumkin bo'lgan ruxsat etilgan vakuum $(h_{\text{вак}})_{\text{чег}}$ miqdori sifonning gidravlik hisobini bajrishdagi kabi bajariladi.

3⁰. Vakuumning turli ko'rinishlari.

Vakuum haqida yuqoridagi mavzularda keltirilgan xuloslarga asoslanib, quyidagi vakuum ko'rinishlarini keltirish mumkin:

1. *Maksimal vakuum* suyuqlik oqimi harakatlanayotgan nuqtasida berilgan shartlarda mavjud bo'ladi. Bunda turbo'lent harakat tartibida quyidagilarni nazarda tutish kerak:

- vaqt buyicha o'rtalashtirilgan maksimal vakuum;
- oniy (aktual) maksimal vakuum;
- maksimal pulsatsion (tebranma) vakuum (musbat va manfiy) . U qaralayotgan nuqtadagi oniy va o'rtalashtirilgan vakuumlar farqi.

2. *Chegaraviy vakuum*, ya'ni $p = p_{t.b}$ bosimga mos keluvchi vakuum qaralayotgan suyuqlik uchun uning berilgan haroratida chegaraviy qiymatdan yuqori vakuumga erishish mumkin emas. Chunki, $p = p_{t.b}$ vaziyatda suyuqlikda kavitatsion uzilishlar paydo bo'ladi. Vakuum tebranish bilan harakatlanuvchi oniy (aktual) vakuum chegaraviy vakuumdan doimo kichik bo'ladi.

3. *Yo'l qo'yish mumkin bo'lgan ruxsat etilgan vakuum mavjud bo'ladi:*

- quvur devorlarida kavitatsion eroziyaga yo'l qo'yilmaydigan sharoitlarda;
- nasos foydali ish koeffitsientining yetarli qiymatlarga erishadigan sharoitlarda;
- quvurda oqimga uzilishi bo'lmaydigan sharoitlarda va boshqalar.

B. UZUN QUVURLAR TIZIMIDA SUYUQLIK OQIMINING NAPOR OSTIDAGI BARQAROR HARAKATI UCHUN QUVURLAR TIZIMINING GIDRAVLIK HISOBI

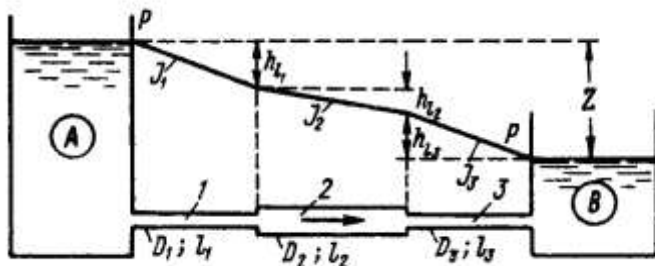
5.7. UMUMIY TUSHUNCHALAR

Bizga ma'lumki, inson o'zining hayot-faoliyatida suyuqlik oqimini ma'lum masofaga uzatish muammosiga ko'p duch keladi. Masalan, asosiy iste'mol uchun yaroqli ichimlik suvini bir necha kilometr uzoqlikda joylashgan aholi turar joylariga yetkazish, shahardagi oqova suvlarni shahardan tashqariga chiqarish, neft mahsulotlarini uzatish va hokazo.

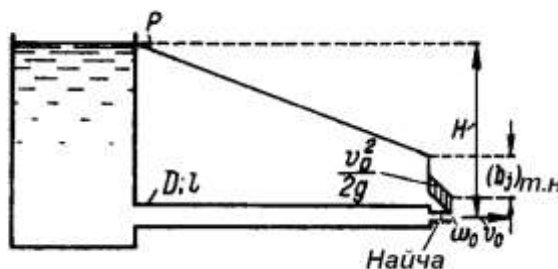
Yuqoridagi mavzulardan bizga ma'lumki, quvurlar tizimida harakatni ta'minlash, ta'minot va iste'mol manbalaridagi naporlar farqi hisobiga vujudga keladi.

Misol tariqasida quyidagi rasmlarni keltirishimiz mumkin.

Sodda quvurlar tizimi deb, uzunlik bo'ylab sarf tarqalmaydigan quvurlar tizimi qabul qilinishini yuqoridagi mavzularda e'tirof etganmiz. Bunday quvurlarda suyuqlik harakatida yo'qoladigan mahalliy naporlar inobatga olinmaydi va to'liq napor $E-E$ hamda pzometrik napor $R-R$ chiziqlari ustma-ust tushadi.



5.10-rasm. O'zgaruvchan diametrlí sodda uzun quvur ($J_1 > J_2$)



5.11-rasm. Naychali sodda uzun quvur

Umumiy quvurlar tizimidagi yo'qolgan naporlarni aniqlashda naporning uzunlik bo'yicha yuqolishi asos qilib olinadi va me'yoriy miqdor 5-10% yuqori qilib qabul qilinadi. Bunday guruhga mansub quvurlarning gidravlik hisobini bajarishda asosan uch xil masala bo'lishi mumkin:

- 1) Suyuqlikning fizik hossalarni harakterlovchi kattaliklar ρ va ν ma'lum hamda napor H , quvur uzunligi l va quvur materialiga va uning tayyorlanish texnologiyasiga bog'liq bo'lgan g'adir-budirlik berilgan. Sarfni aniqlash talab qilinadi;
- 2) Quyidagi ρ , ν , ν , l , D kattaliklar va sarf Q berilgan. H naporni aniqlash kerak;
- 3) Quyidagi ρ , ν , l , n , Q , N berilgan, quvur diametri D ni aniqlash kerak.

Bu masalalarni hisoblashda, asosan real holatdagi tekis barqaror harakatlanayotgan oqimlar uchun Bernulli tenglamasidan foydalanamiz. Bu tenglamani tanlangan kesimlar uchun yozib, mahalliy napor yo'qolishlarini va tezlik naporlarini inobatga olmasak, tenglama quyidagi ko'rinishni olishi mumkin:

a) Oqimning suyuqlik sathi ostiga oqib chiqishi holati uchun:

$$Z = h_i = h_1 + h_2 + h_3 \quad (5.55)$$

bunda, h_1 , h_2 , h_3 – rasmda ko'rsatilgandek mos holda 1-, 2- va 3-quvurlardagi uzunlik bo'yicha napor yo'qolishlari.

Yuqoridagi mavzulardan bizga ma'lumki,

$$h_i = J l, \quad \text{belgi, } J = \frac{Z}{l} \quad (5.56)$$

Oqimning sarf xarakteristikasini yozamiz,

$$Q = C \omega \sqrt{R J} \quad Q^2 = C^2 \omega^2 R J \quad (5.57)$$

$$K = C \omega \sqrt{R} \quad (5.58)$$

bunda, K – sarf moduli

$$Q^2 = K^2 J \quad (5.59)$$

$$J = \frac{Q^2}{K^2} \quad (5.60)$$

$$Z = J_1 l_1 + J_2 l_2 + J_3 l_3 \quad (5.61)$$

$$Z = \frac{Q^2}{K_1^2} l_1 + \frac{Q^2}{K_2^2} l_2 + \frac{Q^2}{K_3^2} l_3 \quad (5.62)$$

$$Z = Q^2 \sum \frac{1}{K^2} \quad (5.63)$$

bundan,

$$Q = \sqrt{\frac{Z}{\sum \frac{1}{K^2}}} \quad (5.64)$$

Ushbu ifodalardan turli gidravlik hisoblarni bajarishda foydalanishimiz mumkin. Masalan, Z , Q , l , β , ν , d parametrlarga asosan Q sarfni hisoblashimiz mumkin yoki berilgan Q , l , K parametrlarga asosan Z naporni aniqlashimiz mumkin.

b) Oqimning atmosferaga chiqish holati uchun: (5.11-rasm)

$$H = h_i \quad (5.65)$$

Umuman, amaliyotda uzunquvurlarning gidravlik hisobini bajarishda naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi inobatga olinsa-da, quvo'rning chiqish qismida o'rnatilgan naychalardagi oqimchanning tezligi yuqori qiymatga ega

bo'lganligi sababli naychadagi napor yo'qolishi va tezlik miqdorini quyidagicha yozamiz.

$$H = h_l + h_{m.H.} + \frac{v_0^2}{2g} \quad (5.66)$$

bunda, $h_{t,n}$ – tor naychadagi napor yo'qolishi:

$$h_{m.H.} = \zeta_{m.H.} \frac{v_0^2}{2g} \quad (5.67)$$

bunda, $\zeta_{t,n}$ – tor naychadagi naporning yo'qolish koeffitsienti.

Shunday qilib,

$$H = h_l + (1 + \zeta_{m.H.}) \frac{v_0^2}{2g} \quad (5.68)$$

yoki

$$H = h_l + \frac{v_0^2}{2g\mu_{m.H}^2} \quad (5.69)$$

bunda,

$$\mu_{m.H} = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{m.H.}}} \quad (5.70)$$

$\mu_{m.H.}$ – tor naycha sarf koeffitsienti;

Demak, yozishimiz mumkinki,

$$H = \frac{Q^2}{K^2} l + \frac{Q^2}{\omega_0^2 2g\mu_{m.H}^2} \quad (5.71)$$

chunki,

$$v = \frac{Q}{\omega_0} \quad (5.72)$$

ω_0 – tor naychada harakatlanayotgan oqimchaning yuzasi;

Agar tor naychaning ω_0 va $\mu_{m.H.}$ kattaliklari ma'lum bo'lsa, quyidagi masalalarni hisoblash mumkin:

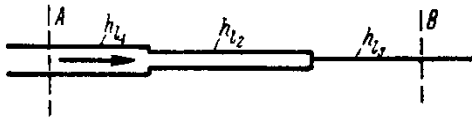
- 1) D, l, Q kattaliklar ma'lum bo'lsa, H – napor kattaligini aniqlash mumkin;
- 2) agar D, l, H berilgan bo'lsa, Q –sarf miqdorini aniqlash mumkin;
- 3) agar Q, H, l berilgan bo'lsa, D quvur diametrini aniqlash mumkin. Bunday vaziyatda dastlab K sarf modulini aniqlaymiz, keyin quvur diametri (D) aniqlanadi.

Agar quvurlar tizimining tugash qismida naycha bo'lmasa, tezlik naporining miqdori gidravlik hisobni bajarishda inobatga olinmaydi va masalaning yechimini aniqlash osonlashadi.

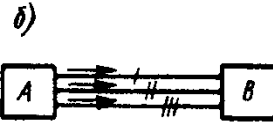
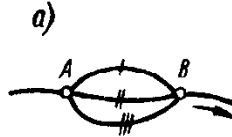
5.8. GIDRAVLIK HISOBLARNI BAJARISHDA QUVURLARNING KETMA-KET VA PARALLEL ULANISHI

Quvurlarning ketma-ket ulanishi. (5.12-rasm) ga asosan, iqtisodiy nuqtai nazardan yoki naporni oshirish maqsadida amalga oshirilishi mumkin.

$$(h_l)_{AB} = h_{l_1} + h_{l_2} + h_{l_3} \quad (5.73)$$



5.12-rasm. Quvurlarning ketma-ket ulanishi



5.13-rasm. Quvurlarning parallel ulanishi

Quvurlarning parallel ulanishi. Bunda biz, ularning murakkab tizimiga duch kelamiz (5.13-rasm). Bunday murakkab quvurlar tizimining gidravlik hisobida, asosan, pzometrardan foydalanishga to'g'ri keladi. Bu P_1 va P_2 pzometrlar quvurlar tizimining bo'linish va birlashish uzellariga o'rnatilsa, quyidagi ifodalar ular uchun o'rnlidir.

$$(h_l)_{AB} = (H_e)_A - (H_e)_B \quad (5.66)$$

A va V uzellardagi naporlar mos ravishda $(N_e)_A$ va $(N_e)_V$ ga teng bo'lishi bizga ma'lum (5.14-rasm).

Bu munosabatga asosan quyidagilarni yozishimiz mumkin:

$$\left. \begin{aligned} h_{l_1} &= (H_e)_A - (H_e)_B \\ h_{l_2} &= (H_e)_A - (H_e)_B \\ h_{l_3} &= (H_e)_A - (H_e)_B \end{aligned} \right\} \quad (5.67)$$

bundan,

$$(h_l)_{AB} = h_{l_1} = h_{l_2} = h_{l_3} = (H_e)_A - (H_e)_B \quad (5.74)$$

Demak,

$$h_l = \frac{Q^2}{K^2} l \quad (5.75)$$

yoki,

$$(h_l)_{AB} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1 = \frac{Q_2^2}{K_2^2} l_2 = \frac{Q_3^2}{K_3^2} l_3 \quad (5.76)$$

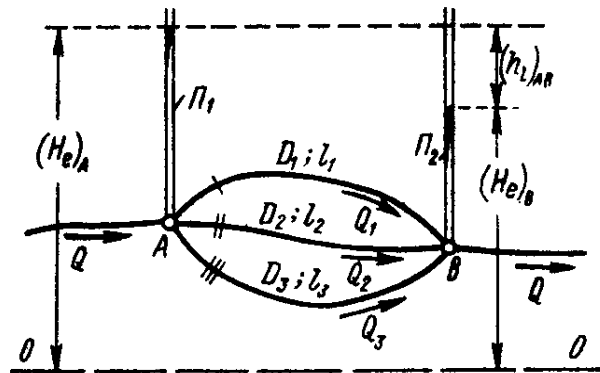
deb yozib olishimiz mumkin. Shunga mos ravishda

$$\left. \begin{aligned} I \quad Q_1 &= K_1 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_1}} \\ II \quad Q_2 &= K_2 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_2}} \\ III \quad Q_3 &= K_3 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_3}} \end{aligned} \right\} \quad (5.77)$$

hamda

$$IV \quad Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (5.78)$$

tenglamalarni yozishimiz mumkin.



5.14-rasm. Uzun quvurlarni parallel ulash hisobiga doir

Natijada Q, l, D kattaliklar ma'lum bo'lgan holatda, quyidagi to'rt $Q_1, Q_2, Q_3, (h_l)_{AB}$ nomalimli tenglamalar tizimi paydo bo'lib, uning yechimi bizga kerakli bo'lgan kattaliklarni beradi.

Buni yechish uchun (5.72) ifodaga (5.71) ifodani qo'yamiz:

$$Q = K_1 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_1}} + K_2 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_2}} + K_3 \sqrt{\frac{(h_l)_{AB}}{l_3}} \quad (5.79)$$

$$Q = \sqrt{(h_l)_{AB}} \sum \frac{K}{\sqrt{l}} \quad (5.80)$$

$$(h_l)_{AB} = \frac{Q^2}{\left(\sum \frac{K}{\sqrt{l}} \right)^2} \quad (5.81)$$

5.9. UCHTA REZERVUARNING GIDRAVLIK HISOBI

5.15-rasmda uchta rezervuar berilgan (*I, II, III*) bo'lib, ular o'zaro quvurlar orqali tutashgan. Mos ravishda ulardagi suv sathi $\nabla_1, \nabla_2, \nabla_3$ qiymatlarga teng bo'lib, ularni o'zgarmas deb hisoblaymiz.

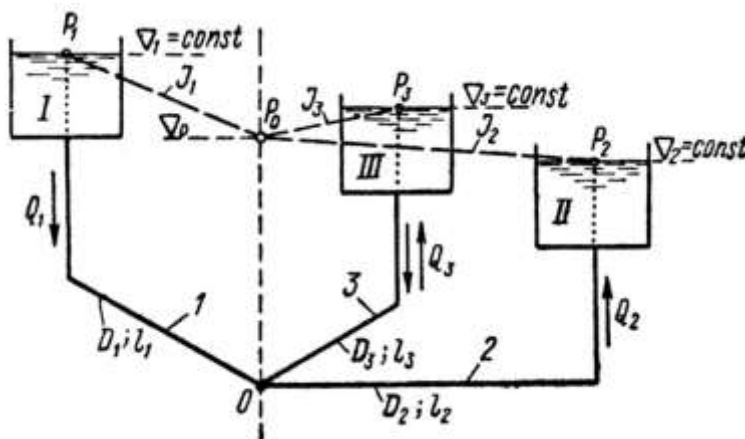
Berilgan: $l_1; l_2; l_3; D_1; D_2; D_3$ (mos ravishda $K_1; K_2; K_3$); $\nabla_1, \nabla_2, \nabla_3$.

Aniqlash kerak:

- agar birinchi va ikkinchi quvurlardagi oqim yo'nalishi ma'lum bo'lsa, uchinchi quvurdagi oqim yo'nalishini;
- Q_1, Q_2, Q_3 kattaliklarni.

1^o. Uchinchi quvurdagi oqim yo'nalishini aniqlash. Bog'lovchi nuqtadagi suv sathini ∇_0 deb belgilab, chizmada qaralayotgan rezervuarlar uchun pezometrik bosim chiziqlarini chizamiz.

- agar *III* bakni *I* bak ta'minlasa, unda uchinchi quvur orqali suv yuqoriga harakatlanadi, bunda $\nabla_0 > \nabla_3$ shart bajariladi;
- agar *III* bakning o'zi *II* bakni ta'minlasa, unda oqim pastga harakatlanadi va $\nabla_0 < \nabla_3$ shart bajariladi;
- agar uchinchi quvurda suv bo'lmasa, $\nabla_0 = \nabla_3$ shart bajariladi.



5.15-rasm. Uchta rezervuarining gidravlik hisobiga doir

Yuqoridagi holatlardan qaysi biri qaralayotgan holat uchun o‘rinli ekanligini aniqlash uchun quyidagicha yo‘l tutamiz:

1. $\nabla_0 = \nabla_3$ deb qabul qilib, ∇_0 ga qiymat beramiz;
2. bu taxminimizga mos keluvchi, Q_1 va Q_2 sarf kattaliklarini aniqlaymiz:

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{h_{l_1}}{l_1}} = K_1 \sqrt{\frac{\nabla_1 - \nabla_0}{l_1}} = K_1 \sqrt{\frac{\nabla_1 - \nabla_3}{l_1}};$$

$$Q_2 = K_2 \sqrt{\frac{h_{l_2}}{l_2}} = K_2 \sqrt{\frac{\nabla_0 - \nabla_2}{l_2}} = K_2 \sqrt{\frac{\nabla_3 - \nabla_2}{l_2}};$$

3. Aniqlangan sarflar (Q_1 va Q_2) ni o‘zaro taqqoslaymiz.

Agar $Q_1 = Q_2$ bo‘lsa, uchinchi bak haqiqatdan ham ishlamayotgan bo‘lib,

$$\nabla_0 = \nabla_3$$

shart bajariladi.

Agar $Q_1 > Q_2$ bo‘lsa, uchinchi bakka suv birinchi bakdan oqayotgan bo‘lib, oqim yuqoriga ko‘tarilayotgan bo‘ladi va quyidagi shart bajariladi

$$\nabla_0 > \nabla_3$$

Agar $Q_1 < Q_2$ bo‘lsa, uchinchi bak ikkinchi bakni ta‘minlab, oqim pastga oqadi va quyidagi shart bajariladi

$$\nabla_0 < \nabla_3$$

2^o. Q_1 , Q_2 , Q_3 sarf miqdorlarini aniqlash. Faraz qilaylik, uchinchi bak ikkinchi bakni ta‘minlab, oqim pastga oqmoqda, (5.69) ifodani inobatga olib, quyidagi tenglamalar sistemasini yozamiz:

$$\left. \begin{aligned} (I) \quad \nabla_1 - \nabla_0 &= \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1 \\ (II) \quad \nabla_3 - \nabla_0 &= \frac{Q_3^2}{K_3^2} l_3 \\ (III) \quad \nabla_3 - \nabla_0 &= \frac{Q_3^2}{K_3^2} l_3 \\ (IV) \quad Q_1 + Q_3 &= Q_2 \end{aligned} \right\}$$

Bunda to‘rtta ∇_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 noma‘lum bo‘lib, berilgan tenglamalar tizimi $\nabla_0 - \nabla_3$ yoki $\nabla_3 - \nabla_0$ hadlarga nisbatan kvadrat tenglama ko‘rinishiga keltirish mumkin. Bu tenglamalar tizimini ∇_0 kattalikka turli ixtiyoriy qiymatlar berib, tanlab olish (yoki ketma-ket yaqinlashish) usuli bilan ham yechish mumkin. ∇_0 kattalikni aniqlab, osonlik bilan Q_1 , Q_2 , Q_3 kattaliklarni aniqlash mumkin.

5.10. SARENING BIR MAROMDA TAQSIMLANISHI HOLATIDA NAPOR YO‘QOLISHI

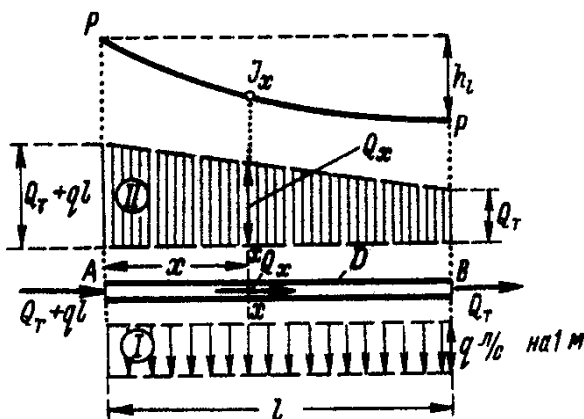
Yuqoridagi hisoblarni bajarish, asosan $Q = \text{const}$ holat uchun o‘rganildi. Lekin amaliyotda, quvurlar tizimi bo‘ylab, bir maromda taqsimlanish holati ham

ko'p uchraydi. Bu holat bilan tanishamiz. U 5.16-rasmda tasvirlangan. AV quvur uzunligi l bo'lib, uning diametrini D deb belgilab olamiz.

I epyura quvurda sarf taqsimlanishini ko'rsatadi. Quvo'ning birlik uzunlik o'lchamidagi sarfni q deb belgilaymiz.

Sarf – quvur uzunligi bo'ylab chiziqli qonuniyat asosida o'zgaradi. Bunda, suyuqlik sarfi epyurasi II trapetsiya ko'rinishida o'zgaradi. Uchastkaning kirish qismida $Q_T + ql$ va chiqish qismida Q_T o'tish (tranzit) sarf miqdori mavjud bo'ladi.

Agar quvo'ning noma'lum masofasidagi x kesimidan o'tayotgan sarf Q_x deb belgilansa, x ning $0 \div l$ qiymat oralig'ida Q_x sarf ($Q_T + ql$) miqdordan Q_x miqdorgacha chiziqli qonuniyat asosida o'zgaradi, J_x –gidravlik qiyalik, quvur uzunligi bo'yicha kamayadi. Demak, p'ezometrik



5.16-rasm. Uzunlik bo'yicha o'zgaruvchan sarfli quvur

chiziq ham qiya bo'lib, uningqabariqligi pastga qaragan bo'ladi:

$$Q_x = (Q_T + ql) - qx \quad (5.82)$$

$$dh_l = J_x dx = \frac{Q_x^2}{K^2} dx = \frac{[(Q_T + ql) - qx]^2}{K^2} dx \quad (5.83)$$

Bu tenglamani qaralayotgan $x = 0$ va $x = l$ oraliqda integrallaymiz:

$$h_l = \int_{x=0}^{x=l} \frac{[(Q_T + ql) - qx]^2}{K^2} dx = \frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} [(Q_T + ql) - qx]^2 dx \quad (5.84)$$

yoki

$$h_l = \frac{Q_{xuc}^2}{K^2} l \quad (5.85)$$

bunda, Q_{xuc} – hisobiy sarf.

$$Q_{xuc}^2 = \frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} [(Q_T + ql) - qx]^2 dx \quad (5.86)$$

yoki

$$Q_{xuc}^2 = \frac{1}{l} \left[\int_{x=0}^{x=l} (Q_T + ql)^2 dx - \int_{x=0}^{x=l} 2(Q_T + ql)qx dx + \int_{x=0}^{x=l} q^2 x^2 dx \right] \quad (5.87)$$

yoki

$$Q_{xuc}^2 = (Q_T + ql)^2 - (Q_T + ql)ql + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} ql \right)^2 \quad (5.88)$$

Agar $Q_T = 0$ bo'lsa,

$$Q_{xuc} = \frac{1}{\sqrt{3}}ql = 0,58ql \quad (5.89)$$

Agar $Q_T \neq 0$ bo'lsa,

$$Q_{xuc} \approx Q_T + 0,55ql \quad (5.90)$$

5.11. MURAKKAB QUVURLAR TIZIMINING GIDRAVLIK HISOBI

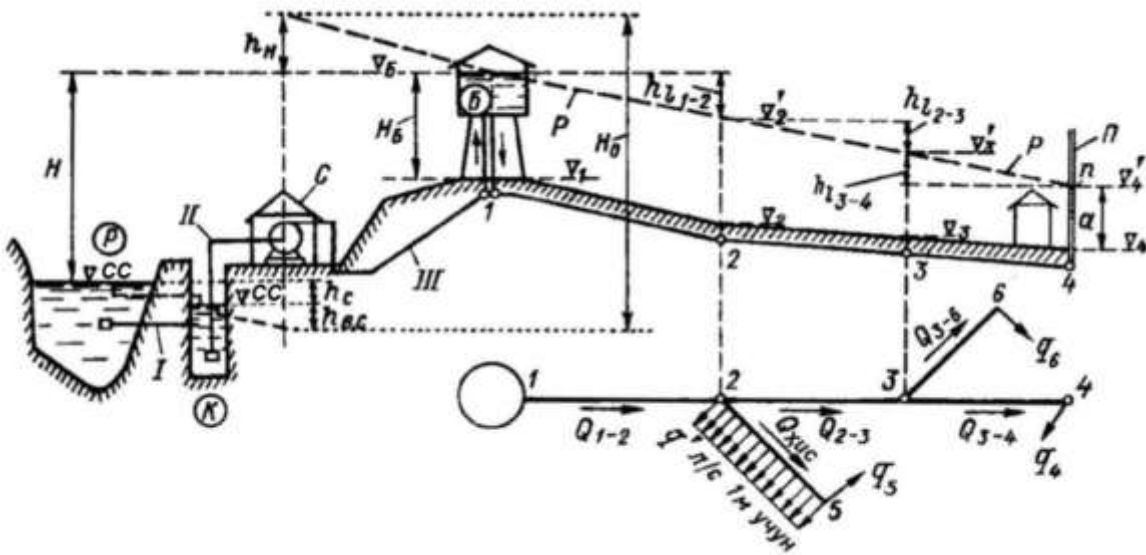
Istomolchilarni suv bilan ta'minlovchi tizim *murakkab tizim* deb yuritiladi. Ularda yon tomonlarga ham suv taqsimlanadi.

Murakkab quvurlar tizimini ikki guruhga bo'lishimiz mumkin:

- tugash qismi berk quvurlar tizimi (5.17-rasm) ;
- halqasimon quvurlar tizimi (5.18-rasm) .

Bunday quvurlar tizimining gidravlik hisobida, suv bilan ta'minlovchi manbadagi suvning napor balandligini aniqlash talab qilinsa, quyidagi kattaliklar berilgan bo'lishi kerak:

- l – quvurlarning har birining uzunligi, ta'minot tizimi plani, joyning gorizontallik ko'rinishdagi plani;
- tizimning nuqtalarida olinayotgan sarflar miqdori q_4, q_5, q_6 ;
- tizimning tugash nuqtalarida kerak bo'ladigan erkin naporlar.



5.17-rasm. Murakkab, oxiri berk quvurlar tizimi

Gidravlik hisoblash natijasida quvurlar diametri, kerakli suv sarfi bilan ta'minlovchi suv bakidagi naporni aniqlash kerak.

Umuman hisoblash quyidagi tartibda olib boriladi:

1. Har bir uzeldagi hisobiy sarf miqdori aniqlanadi:

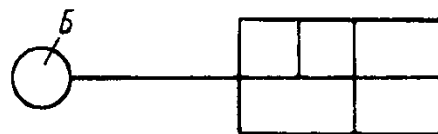
$$Q_{3-4} = q_4$$

$$Q_{1-2} = q_4 + q_5 + q_6 + q'l_{2-5}$$

$$Q_{2-5} = q_5 + 0.55q'l_{2-5}$$

2. Magistral yo'nalishni aniqlaymiz.

Bu yo'nalishda sarf eng yuqori bo'lishi



5.18-rasm. Halqasimon tarmoq tasviri. M bosimli suv minorasi

kerak. Yana u uzunlik

bo'ylab, yer sathining eng katta balandliklari ham shu yo'nalishda joylashgan bo'lishi kerak.

1-2-3-4 magistral yo'nalishning gidravlik hisobi

1. Iqtisodiy qulay tezlik aniqlanadi. Ma'lumki, magistral yo'nalishda tezlikning katta qiymati olinsa, tizimda napor miqdori oshishi mumkin, bu qurilish sarf xarajatlarining oshishiga olib keladi. Chunki, ta'minot manbaidagi suv sathining oshishi, naporning oshishiga olib keladi. Endi teskari holatni qabul qilib, tezlikning kichik qiymatlarini olsak, bunda ham garchand napor kichik qiymatga ega bo'lsada, quvur diametrining oshishi qurilish sarf harajatlarini oshishiga olib kelishi tabiiy. Shu sababli, iqtisodiy qulay tezlik tushunchasi qabul qilinib, tadqiqotlar o'tkazilishi natijasida uning quvur diametriga bog'liq kattaliklari qabul qilingan. Lekin, ko'pgina amaliy hisoblarda $v_{ukm} = 1 \text{ m/sek}$ deb qabul qilinishini e'tirof etishimiz shunday vaziyatlar uchun maqsadga muvofiqdir.

D, m	0,10	0,20	0,25	0,30
$v_{ukm}, m/sek$	0,75	0,90	1,10	1,25

2. Tizimning uchastkalari uchun iqtisodiy tezlikka mos keluvchi quvur diametrlari aniqlanadi:

$$\omega = \frac{Q}{v_{ukm}}; \quad D' = \sqrt{\frac{4\omega}{\pi}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_{ukm}}}$$

3. Tizim uchastkalaridagi yo'qotiladigan naporlar aniqlanadi:

$$h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$$

4. Napor yo'qolishlari h_l ma'lum bo'lgandan so'ng $P-P$ p'ezometri napor chizig'i chiziladi.

Chiziqni chizish Δ'_4 kattalikni bilgan holda, uchastkaning tugash nuqtasidan boshlaymiz. Hisoblangan $(h_l)_{3-4}$, $(h_l)_{2-3}$, $(h_l)_{1-2}$ kattaliklar vertikal yo'nalishda qo'yiladi.

Magistraldan bo'lingan yo'nalishlar esa quyidagi tartibda hisoblanadi (5.17-rasmga qarang) :

a) napor yo'qolishi –

$$h'_l = \Delta'_3 - \Delta'_6$$

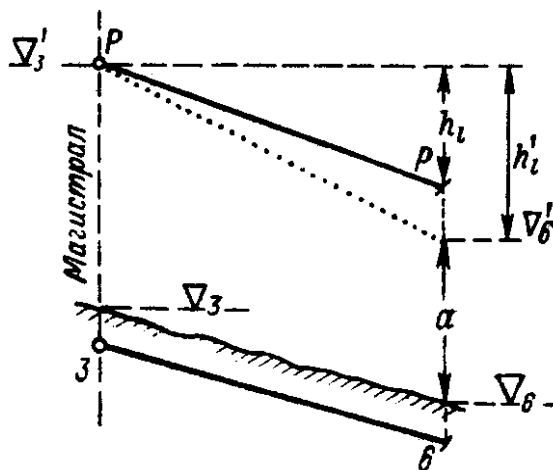
aniqlanadi;

b) sarf modulining ifodasini quyidagicha yozamiz:

$$(K')^2 = Q^2 \frac{l}{h'_l}$$

c) maxsus (5.1, 5.2, 5.3) jadvallar yordamida sarf modulning K' qiymatiga mos keluvchi quvur D diametri aniqlanadi;

d) D kattalikning ishlab chiqarishdagi mavjud standartlariga mos keladigan katta tomonga yaxlitlangan D kattalik qabul qilinib, unga mos keluvchi haqiqiy sarf moduli (K) ning va yo‘qotilgan napor (h_l) ning qiymatlari aniqlanadi. Agar magistral yo‘nalishni noto‘g‘ri tanlagan bo‘lsak hisoblashda $\Delta'_6 > \Delta'_3$ muammoga duch kelishimiz mumkin. Unda hisoblashni yangi magistral yo‘nalish tanlab, qaytadan bajaramiz.



5.19-rasm. Magistral yo‘nalishdan bo‘lingan tarmoq

V BOBGA DOIR TEST-NAZORAT SAVOLLARI

1. “Uzun” quvurlar deganda qanday quvurlar tushuniladi?

- Suyuklikni ideal deb faraz qilinganda;
- Suyuklik laminar tartibda harakatlanganda;
- Suyuqlik oqimining turbo‘lent tartibdagi harakatida;
- Maxalliy napor yo‘qolishlari uzunlik bo‘yicha napor yo‘qolishining 5 foizdan kam miqdorini tashkil qilganda.

2. “Qisqa” quvurlar deganda qanday quvurlar tushuniladi?

- Suyuklikni ideal deb faraz qilinganda;
- Maxalliy napor yo‘qolishlari uzunlik bo‘yicha napor yo‘qolishining 5 foizdan ko‘p miqdorini tashkil qilganda;
- Suyuqlik oqimining turbo‘lent tartibdagi harakatida;
- Maxalliy napor yo‘qolishlari uzunlik bo‘yicha napor yo‘qolishining 5 foizdan kam miqdorini tashkil qilganda.

3. Sarf moduli qanday parametrlarga bog‘liq?

- Quvo‘rning uzunligiga, materialiga, diametriga va suyuqlikning harakat tartibiga bog‘liq;
- Quvo‘rning uzunligiga va diametriga bog‘liq;
- Quvo‘rning uzunligiga, diametriga va suyuqlikning harakat tartibiga bog‘liq;
- Quvo‘rning uzunligiga va suyuqlikning harakat tartibiga bog‘liq;

4. Sodda quvurlardan oqim suyuqlik ostiga chiqqandagi holat uchun ularning hisoblanish formulasini aniqlang.

- $Q = \mu_T \omega \sqrt{2gZ}$;
- $v = \frac{Q}{\omega_0}$;
- $Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH}$;
- $h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$

5. Sodda quvurlardan oqim atmosferaga chiqqandagi holat uchun ularning hisoblanish formulasini aniqlang.

a) $Q = \mu_T \omega \sqrt{2gZ}$;

b) $\nu = \frac{Q}{\omega_0}$;

c) $Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH}$;

d) $h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$

6. Quvurdagi naporni aniqlashda Darsi-Veysbax formulasini aniqlang.

a) $h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{\nu}{2g}$;

b) $h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{\nu^2}{2g}$;

c) $h_m = \zeta_m \frac{\nu^2}{2g}$;

d) $h_l = \zeta \frac{\nu}{2g}$

7. Napor yo'qolishini aniqlash uchun Veysbax formulasini aniqlang.

a) $h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{\nu}{2g}$;

b) $h_l = \frac{\lambda l}{d} \frac{\nu^2}{2g}$;

c) $h_m = \zeta_m \frac{\nu^2}{2g}$;

d) $h_l = \zeta \frac{\nu}{2g}$

8. Sodda quvurlardan oqim suyuqlik sathi ostiga chiqqandagi holat uchun sarf koeffitsientining hisoblanish formulasini aniqlang.

a) $\mu_T = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_l + \sum \zeta_M}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}} ;$

c) $Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH}$;

b) $\mu_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}} ;$

d) $h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$

9. Sodda quvurlardan oqim atmosferaga chiqqandagi holat uchun ularning sarf koeffitsientining hisoblanish formulasini aniqlang.

a) $\mu_T = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_l + \sum \zeta_M}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}} ;$

c) $Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH}$;

b) $\mu_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l}{D} + \sum \zeta_M}} ;$

d) $h_l = \frac{Q^2}{K^2} l$

VI BOB. SUYUQLIK OQIMINING QUVURLAR SISTEMASIDAGI BEQAROR HARAKATI

6.1. DASTLABKI TUSHUNCHALAR

Biz, quyida suyuqlikning sekin o'zgaruvchan beqaror harakati bilan tanishamiz. Eslatib o'tamiz, *suyuqlikning beqaror harakati* deb shunday harakatga aytiladiki, bunda suyuqlikli muxitda joylashgan qo'zg'almas nuqtalardagi tezlik vaqt o'zgarishi bilan o'zgaradi. Bir so'z bilan aytganda, siqilmas deb qaralayotgan suyuqlikning beqaror sekin o'zgaruvchan harakatida uning sarfi Q va o'rtacha tezligi v – qaralayotgan tekis harakatdagi kesimlarda noldan farq qiluvchi hususiy hosilasiga ega bo'lishi kerak:

$$\frac{\partial v}{\partial z} \neq 0; \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0.$$

Agar siqilmas suyuqlik naporli barqaror tekis o'zgaruvchan harakatlansa va harakat absolyut kattiq (deformatsiyalanmaydigan) o'zanlarda bo'lsa, o'zanning barcha kesimlari uchun $\frac{\partial v}{\partial z} = 0$ munosabat o'rinli bo'ladi. Agar suyuqlik

siqiluvchan deb qabul qilinsa, bunda ikkinchi shart ham qo'shiladi $\frac{\partial p}{\partial t} = 0$ yoki

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.$$

Suyuqlikning beqaror harakati gidrostantsiyalardagi loyihalash ishlarida: turbinalarga kiruvchi quvurlarni hisoblashda (turbinalarni yopishda tezlik va bosim vaqt o'zgarishi bilan o'zgaradi), kanallarni hisoblashda (gidrostantsiyaga suvni uzatuvchi va undan chiqqanda chiqaruvchi) va boshqa hollarda kuzatiladi. Beqaror harakat bilan esa amaliyotda vodoprovod sistemalarini hisoblashda duch kelamiz.

Tadqiqot nuqtai nazaridan nisbatan eng sodda ko'rinishdagi suyuqlikning beqaror harakati quyidagi ikki cheklanish qabul qilingan holatdagi *naporli beqaror harakati* qabul qilingan;

- *birinchi cheklanish* – naporli quvurlarning devorlari umuman absolyut kattiqdir. Suyuqlik deformatsiyalanmaydi;
- *ikkinchi cheklanish* – quvurda harakatlanayotgan suyuqlik absolyut siqilmasdir:

Bunday oddiy holat uchun quyidagi harakat shartlariga ega bo'lamiz:

a) quvur absolyut kattiq bo'lganligi sababli, ω kattalik umuman t vaqtga bog'liq emas, quvur ko'ndalang kesimining yuzasi – (ω) butunlay bitta koordinata (S) bilan aniqlanib, u quvur o'qi bo'yicha o'lchanadi:

$$\omega = f_1(s) \quad (6.1)$$

b) umuman olganda, quvurdagi Q sarf vaqt o'tishi bilan o'zgaradi, lekin, bu holatda quvo'ring barcha kesimlarida bir xildir. Chunki, suyuqlik siqilmas deb qabul qilingan. Ma'lum bir vaqt oralig'ida oqimning uzluksizlik tenglamasini oqimning quvurdagi harakatiga qo'llashimiz mumkin:

$$Q = \text{const} \text{ (oqim bo'ylab berilgan vaqt uchun)} \quad (6.2)$$

demak, Q sarf bitta o'zgaruvchi funktsiyasi deb qabul qilinadi:

$$Q = f(t) \quad (6.3)$$

v) yuqoridagiga asoslanib,

$$v = \frac{Q}{\omega}$$

ekanligini e'tiborga olib,

$$v = f(s) \quad (6.4)$$

umuman,

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{f_2(t)}{f_1(s)} = f(s, t) \quad (6.5)$$

Amaliyotda suyuqlikning beqaror harakati o'rganilganda quvur devorining deformatsiyalanishini va suyuqlikning siqiluvchanligini hisobga olishga to'g'ri keladigan holatlar ham uchraydi. Masalan, quvurlarda ro'y beradigan *gidravlik zarb* degan jarayon bunga misol bo'lishi mumkin. Bu jarayonni yuqoridagi sodda model bilan o'rganib bo'lmaydi. Chunki, bu holatda quvur devorining deformatsiyalanishini va suyuqlikning siqiluvchanligini hisobga olishga to'g'ri keladi. Bunda albatta, ikkala cheklanishni bekor qilishimizga to'g'ri keladi.

Endi quyidagi 3 masalani alohida ko'rib chiqamiz:

1. Suyuqlikning siqiluvchanligini va quvur devorining deformatsiyalanishini hisobga olmasdan, uning naporli tekis o'zgaruvchan beqaror harakati;
2. Suyuqlikning siqiluvchanligi va u harakatlanayotgan quvo'rning deformatsiyalanishi hisobga olinib, uning naporli beqaror harakati o'rganiladi. Bunda gidravlik zarb jarayoni bilan tanishamiz;
3. Suvning tinch beqaror naporsiz harakati.

I. SUYUQLIK SIQILMAS DYEB QARAB, QUVURLARNING DYEFORMASIYALANMAYDIGAN HOLATI UCHUN NAPORLI BEQAROR HARAKAT

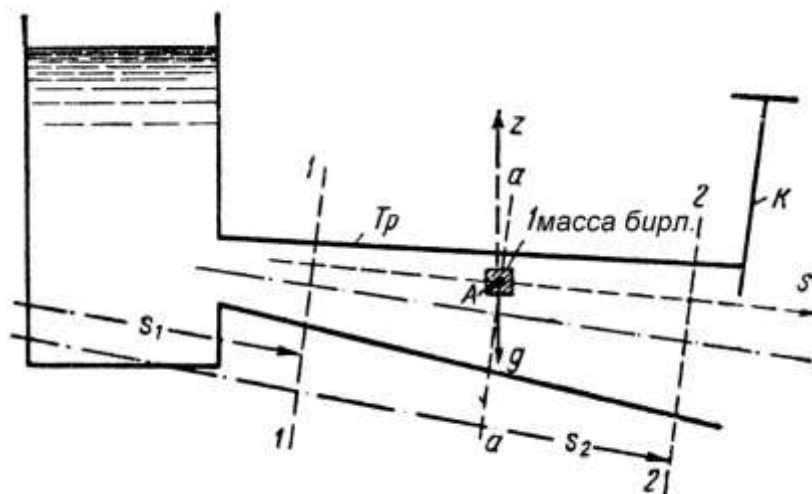
6.2. BEQAROR HARAKATLANAYOTGAN ELEMENTAR OQIMCHALAR TO'PLAMI UCHUN BERNULLI TENGLAMASI (suyuqlikning lokal inersiya kuchlarini hisobga oluvchi Bernulli tenglamasi)

Biz, quyida faqat tekis hisobiy harakatidagi kesimlar mavjud bo'lgan holatni, ya'ni suyuqlik oqimining parallel oqimchalar ko'rinishida va sekin o'zgaruvchan harakatlarini o'rganamiz. Shu sababli, harakatdagi kesimlarga tik holatda yo'nalgan faqat uzunlik bo'yicha tezlik va tezlanishlarni o'rganamiz.

Biz, quyida nazarda tutayotgan harakat mavjud bo'lgan va uzunlik bo'yicha kengayuvchi Tr quvurlar sistemasida joylashgan 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'idagi harakatni o'rganib chiqamiz. (6.1 rasm) .

Bu quvurlar sistemasi (truboprovod) da mahalliy napor yo'qolishi mavjud emas, deb qabul qilamiz.

Sistemani tugash qismida o'rnatilgan K kran sekin, bosqichma-bosqich yopiladi yoki ochiladi, deb faraz qilamiz. Bunda vaqt o'tishi bilan oqim sarfi Q va u tezlik o'zgaradi, deb qabul qilamiz. Truboprovodda beqaror harakat amalga oshmokda.



6.1 rasm. Bernulli tenglamasini keltirib chiqarishga doir

Sistemada truboprovod devori absolyut qattiq, deb qabul qilamiz va suyuqlikni siqilmaganligini e'tirof etamiz, bunday holatda oqimning ν o'rtacha tezligi faqat kordinataga bog'liq bo'ladi.

Sistemada ixtiyoriy $a-a$ kesim belgilab, unda A nuqtani tanlab olamiz. z koordinata o'qini vertikal yo'nalishda belgilab olib, s o'qini tok chizig'i yo'nalishida belgilab olamiz.

Boshlanishida suyuqlikni ideal holatda, deb qabul qilamiz. A nuqtada birlik suyuqlik massasini belgilab olamiz. Endi, bu massaga tasir etayotgan barcha kuchlarni aniqlaymiz.

Bu kuchlarni proektsiyalari yig'indisini (inersiya kuchini ham) nolga tenglaymiz. Bunda bizga oldindan ma'lum dinamik muvozanat tenglamasiga ega bo'lamiz. Bu tenglamani birlik massaga nisbatanko'rinishi Eyler tenglamasi bo'lib, quyidagi ko'rinishga ega bo'lgan (qarang 3-3)

$$\phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial s} - \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (6.6)$$

ϕ_x – xajmiy kuchning bizning holatimizda faqat og'irlik kuchining s o'qqa proektsiyasi bo'lib, uning potentsial funktsiyasi:

$$U = -gz \quad (6.7)$$

bundan

$$\phi_x = \frac{\partial U}{\partial s} = -\frac{\partial}{\partial s}(gz) \quad (6.8)$$

$\frac{\partial u}{\partial t}$ – suyuqlik zarrachasining tezlanishi; bu kattalik qaralayotgan suyuqlikning birlik massasi inersiya kuchining teskari ishora bilan olingan qiymatiga tengdir; (3.8) ifodalarga asoslanib yozishimiz mumkin:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial t} = u \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial u}{\partial t} \quad (6.9)$$

(6.8) va (6.9) ifodalarni (6.6) ifodaga qo'yamiz:

$$-\frac{\partial}{\partial s}(gz) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (6.7)$$

Tenglamani birlik massaga (g kattalikka) bo'lamiz:

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (6.11)$$

Olingan tenglamani s koordinata bo'yicha berilgan ($t = t_0$) vaqt uchun integrallaymiz. Buning uchun tenglamani ds ga ko'paytiramiz va 1-1 kesimdan 2-2 kesimgacha integrallaymiz. Natijada bitta had bilan to'ldirilgan Bernulli tenglamasini keltirib chiqaramiz.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds \quad (6.12)$$

Bu *ideal suyuqlikning elementar oqimchasi harakati tenglamasidir*. Ideal holatdagi suyuqlikning elementar oqimchasi real holatdagi suyuqlik elementar oqimchasiga o'tadigan bo'lsak, tenglamaga naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi h'_l va $\pm \Delta E$ kattaliklarni kiradi, demak (6.12) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \pm h'_{\Delta E} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_l + \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds \quad (6.13)$$

Bunda quyidagi belgilash kiritamiz:

$$a) \quad \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} dS = h'_i \quad (6.14)$$

oxirgi ko'rinishda (6.13) ifoda o'rniga quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\boxed{z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \pm h'_{\Delta E} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_l + h'_i} \quad (6.15)$$

h'_i kattalikni dQ elementar sarf orqali ifodalash uchun quyidagilarni yozamiz:

$$dQ = u \delta \omega; \quad u = \frac{dQ}{d\omega} \quad (6.16)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\lambda}{\delta \omega} \frac{\partial (dQ)}{\partial t} \quad (6.17)$$

$$\text{Bundan} \quad h'_i = \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds = \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{1}{\delta \omega} \frac{\partial (dQ)}{\partial t} ds \quad (6.18)$$

yoki $\frac{\partial (dQ)}{\partial t}$ – s kordinataga bog'liq bo'lmaganligi uchun

$$b) \quad h'_i = \frac{1}{g} \frac{\partial (dQ)}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\delta s}{\delta \omega} \quad (6.19)$$

Shunday qilib, h'_i uchun a va b ikkita ifodaga egamiz.

Bu kattalik uzunlik o'lchov birligida o'lchanib, *inertsion napor* deb ataladi. Bu atamaning qo'llanilishi quyidagicha tushuntirilishi mumkin: *Birlik massaga* nisbatan olingan harakatdagi suyuqlikning inersiya kuchini yozamiz:

$$I' = -\frac{1}{g} \frac{du}{dt} \quad (6.20)$$

bunda $\frac{1}{g}$ – suyuqlikning burchak og'irligi massasi.

(6.20) ifodani (6.9) ni hisobga olib, quyidagicha yozish mumkin:

$$I' = -\frac{1}{g} \left[\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial u}{\partial t} \right] \quad (6.21)$$

yoki

$$I' = -\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2g} \right) - \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} = I'_\kappa + I'_\eta \quad (6.22)$$

bunda,

$$I'_\kappa = -\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2g} \right) = f_1 \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right) \quad (6.23)$$

$$I'_\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial t} = f_2 \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) \quad (6.24)$$

belgilanishlar kiritdik.

Ko'rinib turibdiki, solishtirma inersiya kuchi I' ikki kesimdan iborat.

$I'_\kappa = f_1 \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right)$ – solishtirma inersiya kuchining *konvektiv* qismi; bu kattalik tezlikning uzunlik bo'yicha o'zgarishiga bog'liq. Beqaror harakatni o'rganganimizda bu had bilan biz tanishgan edik. Bu hadni ds ga ko'paytirib, 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida integrallab, tezlik naporlari farqini, bu kesimlar oralig'idagi harakatda solishtirma kinetik energiyaning o'zgarishini olamiz.

$$\delta h_u = - \left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) \quad (6.25)$$

Bundan ko'rinib turibdiki, Bernulli tenglamasiga kiruvchi naporlar farqi $\partial u / \partial s$ hususiy xosila bilan aniqlanuvchi solishtirma inersiya kuchining konvektiv hadlarini hisobga oladi:

$$I'_\eta = f_2 \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) – \text{solishtirma inersiya kuchining lokal qismidir; bu had berilgan}$$

nuqtadagi tezlikning vaqt bo'yicha o'zgarishiga bog'liq. Bu had faqat beqaror harakatda paydo bo'lib, $\partial u / \partial t$ – xususiy xosila bilan aniqlanadi.

(6.24) ifodani ds ga ko'paytirib 1-1 kesimdan 2-2 kesimgacha integrallab, h'_i kattalikni olamiz. Shu sababli, uni inersiya kuchining lokal qismini hisobga oluvchi *inertsion napor* deb ataymiz. Olingan (6.15) tengalama *lokal inersiya kuchlarini hisobga oluvchi Bernulli tenglamasi* deyiladi. Bu tenglama ma'lum bir

vaqtga ta'luqli bo'lganligi sababli, tenglamaning barcha hadlari ma'lum bir vaqt uchun hisoblanishi kerak.

6.3. LOKAL INERSIYA KUHLARI HISOBGA OLINGAN HOLAT UCHUN REAL HOLATDAGI SUYUQLIKNING BUTUN OQIMI UCHUN BERNULLI TENGLAMASI

1-1 va 2-2 kesimlar oralig'idagi tekis o'zgaruvchan harakatni o'rganishimizda hisobiy kesim bo'ylab yo'nalgan tezliklar va tevlanishlarni hisobga olmaymiz, shu sababli, bu kesim bo'ylab yo'nalgan lokal inersiya kuchlari tashkil etuvchilari ham hisobga olinmaydi.

Bernulli tenglamasini §6.2-mavzudagi ko'rinishini qo'llab beqaror harakat uchun bo'lgan holatdagi kabi fikr yuritib (qarang § 3.19, 3.20) natijada butun oqim uchun Bernulli tenglamasini olamiz.

$$(I) \quad z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_l + h_i \quad (6.26)$$

h_i — lokal inersiya kuchini 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida yengib o'tish uchun sarflanadigan napordir.

$$h_i = \frac{\int_{\omega} (h'_i) \gamma dQ dt}{\gamma Q dt} = \frac{\int_{\omega} \left[\frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds \right] dQ}{Q} = \frac{1}{gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} u \frac{\partial u}{\partial t} d\omega \right] ds \quad (6.27)$$

h_i – kattalikni v orsali ifodalab, (6.27) ifodani quyidagicha ifodalaymiz:

$$A) \quad h_i = \frac{\alpha_0}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial v}{\partial t} ds \quad (6.28)$$

yoki

$$\begin{aligned} h_i &= \frac{1}{gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} u \frac{\partial u}{\partial t} d\omega \right] ds = \frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} \frac{\partial (u^2)}{\partial t} d\omega \right] ds = \\ &= \frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} \frac{\partial (u^2 d\omega)}{\partial t} \right] ds = \frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\frac{\partial}{\partial t} \int_{\omega} u^2 d\omega \right] ds = \end{aligned} \quad (6.29)$$

$$\frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_0 v^2 \omega) \right] ds = \frac{\alpha_0}{gQ} \int_{s_1}^{s_2} (v\omega) \frac{\partial v}{\partial t} ds = \frac{\alpha_0}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial v}{\partial t} ds$$

quyidagi $\frac{\partial Q}{\partial t} = \omega \frac{\partial v}{\partial t}$ munosabatni hisobga olib,

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{\omega} \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (6.30)$$

(6.28) ifodani quyidagicha ifodalash mumkin

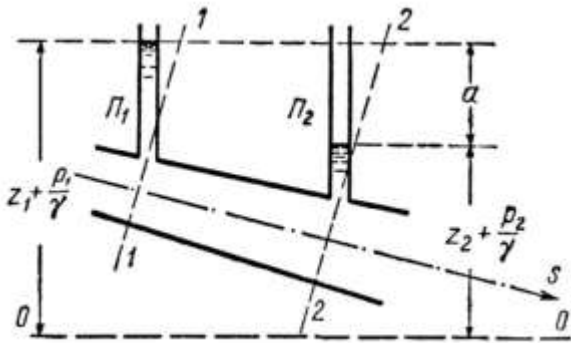
$$B) \quad h_i = \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{\omega} \quad (6.31)$$

Bunda formulaga kiruvchi integral

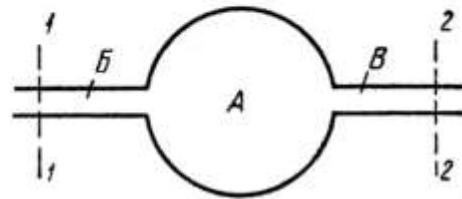
$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{\omega} \quad (6.32)$$

Ma'lum geometrik shakldagi truboprovod uchun aniq geometrik ma'noga ega.

Endi, Bernulli tenglamasining ikkinchi shaklini keltiramiz. Buning uchun ikkita Π_1 va Π_2 pezometr o'rnatilgan truboprovodni 6.2-rasmda tasvirlaymiz.



6.2 rasm: Bernulli tenglamasini tushuntirish (6.35-ifoda)



6.3 rasm: Bernulli tenglamasini tushuntirish (6.35-ifoda)

Parametrlar farqini yozamiz:

$$a = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \quad (6.33)$$

(6.26) formulaga asosan

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) = \frac{\alpha}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + h_i + h_l \quad (6.34)$$

bundan,

$$(II) \quad \boxed{a = \frac{\alpha}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + h_l + h_i;} \quad (6.35)$$

Bu oqimning beqaror harakati uchun Bernulli tenglamasining ikkinchi ko'rinishi. Bu keltirilgan tenglamalar (6.26) va (6.35) lar uchun quyidagilarni etrof etish zarur.

1. Kerakli ma'lumotlar yetishmasligi yoki yo'qligi sababli, napor yo'qolishi bapqaror tekis harakatning ko'rinishi uchun aniqlangan formulalar yordamida hisoblanadi. Bu mutlaqo to'g'ri emas (chunki utezlik epyuralari har ikkala barqaror va beqaror harakatlar uchun turlichadir).
2. Harakat vaqt davomida sekin o'zgaruvchanligi sababli h_i had nihoyatda kichik qiymatga ega bo'ladi, shu sababli uni tashlab yuborish mumkin. Bunda biz beqaror harakat uchun oddiy Bernulli tenglamasini olamiz. (qarang § 3.20-mavzu)
3. Barqaror harakatlanayotgan oqim uchun Bernulli tenglamasidan 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida sekin o'zgaruvchan harakat bo'lganda ham foydalanish mumkin. Bu oraliqda ($h_i=0$) bo'lganda, yani tez o'zgaruvchan harakat bo'lganda ham foydalanish mumkin.

Agar butun harakat davomida sekin o'zgaruvchan harakat kuzatilsa, oqimning beqaror harakati uchun olingan h_i qo'shimcha hadli Bernulli

tenglamasidan foydalanish mumkin. Chunki h_i qo'shimcha hadni aniqlovchi ifoda 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi sekin o'zgaruvchan harakat uchun olingan. Agar 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida oqimning harakati A shaklga ega bo'lsa (6.3-rasm) va bu soha integralning kichik qiymati bilan harakaterlansa, u holda (6.31) formulaga kiruvchi lokal inersiya kuchlarini inobatga olmaslik mumkin va umuman 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida paydo bo'ladigan tez keskin o'zgaruvchan harakatga e'tibor bermasligimiz mumkin.

Lokal inersiya kuchlari faqat B va V sohalarda (6.3-rasm) hisobga olinadi.

1. (6.26) va (6.35) ifodalarining (3.71) ifodadan farqi bo'larda faqat naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi hisobga olinadi. Umuman, amaliy jihatdan bu tenglamalar mahalliy napor yo'qolishlari cheklangan miqdorda mavjud bo'lgan truboprovodlarda ham qo'llanilishi mumkin. Bunda quyidagicha yo'l to'atiladi:
 - a) h_i hadni hisoblashda lokal inersiya kuchlarini mahalliy yo'qolishlar mavjud bo'lgan joylarda hisobga olinmaydi. (chunki uni hisoblash amaliy jixatdan mumkin emas);
 - b) Bernulli tenglamasiga h_l had o'rniga h_f – to'liq napor yo'qolishlari kiritiladi va napor yo'qolishlari bunda, tekis barqaror harakat formulalaridan foydalanib topiladi.

6.4. INERSIYA NAPORINING ENERGETIK MA'NOSI. SIQILMAS SUYUQLIK OQIMINING ABSOLYUT QATTIQ DEVORLI TRUBOPROVODLARDAGI BEQAROR HARAKATI UCHUN BERNULLI TENGLAMASINING GEOMETRIK INTERPRENTSIYASI

Bu masalani o'rganish uchun naporli truboprovodning 1-1 va 2-2 kesimida chegaralangan bo'limini ko'rib chiqamiz, bu bo'limda suyuqlik doimo yangilanib turadi. Lekin bu bo'limdagi suyuqlik xajmi vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Bu suyuqlik miqdorini **«hisobiy hajm»** deb qabul qilamiz.

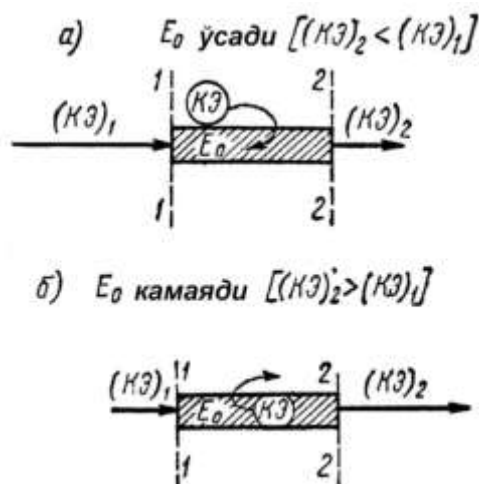
Har bir vaqt oralig'ida bu hisobiy xajm malum kinetik energiyaga ega bo'ladi. Buni biz Ye_0 deb belgilaymiz va *suyuqlikning hisobiy xajmi kinetik inergiyasi* deb ataymiz.

Quyidagilarni tasdiqlashimiz mumkin:

- a) qaralayotgan bo'limda suyuqlik zarrachalari tezligi barqaror harakatlanayotganda vaqt davomida o'zgarmaganligi sababli, Ye_0 – suyuqlikning hisobiy xajmi kinetik energiyasi vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi, yani $Ye_0 = const$;
- b) oqimning tezlanuvchan harakatida esa vaqt davomida Ye_0 – energiya o'zgaradi. Ye_0 – energiya mikdorini oshishi, **«hisobiy hajm»**ning 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida harakatlanayotgan suyuqlik energiyasini o'ziga olib, uni akumilyatsiyalaydi (6.4 rasm) . Shu sabali $(K\mathfrak{D})_2$ mikdor nisbatan kichik qiymatga ega bo'ladi. $(K\mathfrak{D})_1$ miqdorning KE qismi 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'idagi **«hisobiy hajm»**da qolib ketadi.

s) vaqt mobaynida sekinlashuvchan harakatda E_0 kamayadi. Bunda hisobiy hajmdagi suyuqlik zarrachalari tezligining kamayishini ko'rsatish mumkin. 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'idagi «hisobiy xajm»da zahira energiya bu kamayish hisobiga oshishi kuzatiladi.

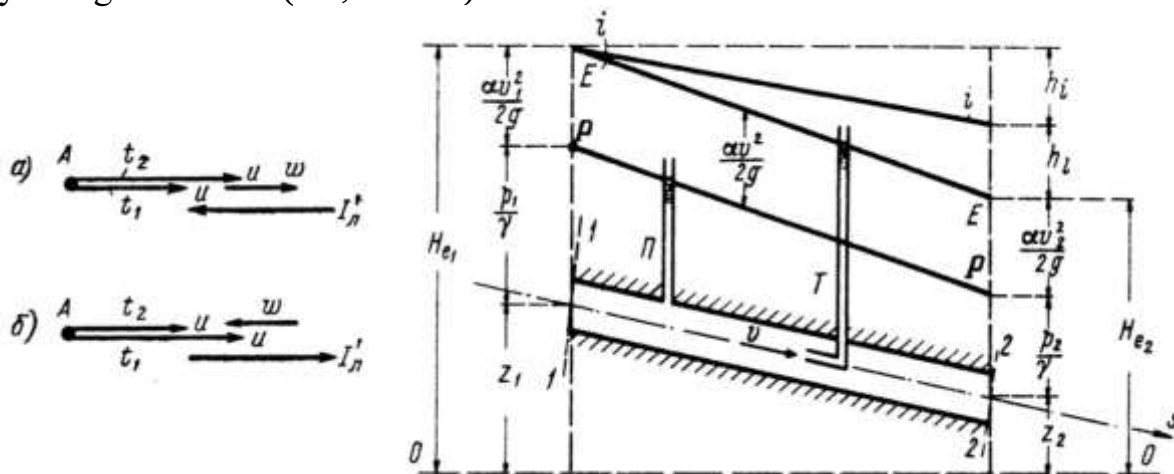
Bu vaziyatda hisobiy xajmdagi energiyaning ma'lum qismi kamayadi. (6.4, b-rasm).



6.4 rasm. Inertsion naporni tushuntirishga doir.

Xulosa qilib aytish mumkinki: *inertsion napor h_l energiyani vaqt davomida o'zgarish me'yorida, shu bilan birgalikda bu suyuqlik «hisobiy xajm»i kinetik energiyasining 1-1 va 2-2 kesim oralig'idagi o'zgarishi bo'lib, suyuqlikning birlik massasi o'zgarishi $m'yori$ hamdir.*

Ya'ni, h_l – 1-1 va 2-2 kesim oralig'ida suyuqlikning birlik massasining inertsion kuchini yengishga sarflanadigan napor miqdoridir. Tezlanuvchan harakatda h_l musbat qiymatga ega bo'lib, I_n lokal inersiya kuchi oqimga teskari yo'nalgan bo'ladi. (6.5, a-rasm). Bunda ω bilan A zarracha tezlanishi ko'rsatilgan.



6.5-rasm. Inertsion naporni tushuntirish

6.6-rasm. Tezlanuvchan harakat uchun Bernulli tenglamasi interpretatsiyasi
P–pezo metr, T– Pito nayi

Sekinlashuvchan harakatda esa h_l kattalik manfiy bo'lib, I_n lokal inersiya kuchi oqim bo'ylab yo'naladi. (6.5-rasm).

Yuqoridarlarga asoslanib, quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

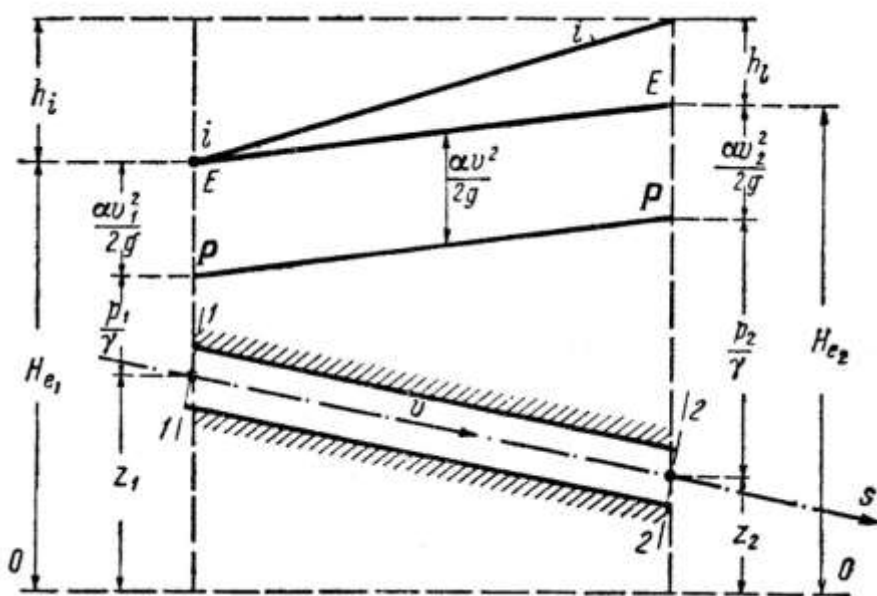
1. Tezlanuvchan harakatda 1 – 1 kesimdagi to'liq napor quyidagilarga sarflanadi:

$$H_{e_1} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \quad (6.36)$$

- a) 2-2 kesimda to'liq naporni shaklantirishga;
- b) 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'idagi ishqalanish kuchlari ishiga, u issiqlikka aylanib tarqalib ketadi. Bu mikdor h_l ga teng bo'lib, kaytib paydo bo'lmaydi;
- c) 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'idagi lokal inersiya kuchlarni yengib o'tishga, ya'ni suyuqlikning shu oraliqdagi kinetik energiyasini oshirishga; Bu mikdorni napor yo'qolishi deb qaramaslik kerak.

2. Sekinlashuvchi harakatda esa boshqacha kartinani olamiz. Kinetik energiya h_l malum qismidan holos bo'ladi. Chunki, 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida uning kamayishi ro'y beradi. Bunday holatda chiqayotgan h_l energiya H_{e_1} bilan birgalikda quyidagilarga sarf bo'ladi: $(H_e + h_i)$:

- a) 2-2 kesimda H_{e_2} naporni hosil qilishga;
- b) issiqlikka aylanuvchi ishqalanish kuchi bajargan ishga;



6.7-rasm. Sekinlashuvchan harakat uchun Bernulli tenglamasi interpretatsiyasi

Yuqoridilarga asoslanib, Bernulli tenglamasini quyidagicha interpretatsiya (tahlil) qilish mumkin:

- tezlanuvchan harakat misolida: 6.6-rasmda uzunlik bo'yicha tekis, lekin, vaqt davomida o'zgaruvchan harakat tasvirlangan:

$$H_{e_2} = H_{e_1} - h_l - |h_i|; \quad (6.37)$$

$$H_{e_1} = H_{e_2} + h_l + |h_i| \quad (6.38)$$

- harakat davomida sekinlashuvchi harakat uzunlik bo'yicha tekis, vaqt davomida sekinlashuvchi harakat 6.7-rasmda ifodalangan:

$$H_{e_2} = H_{e_1} + |h_i| - h_l; \quad (6.39)$$

$$H_{e_1} + |h_i| = H_{e_2} + h_l \quad (6.40)$$

Ko'rinib turibdiki, sekinlashuvchan harakatda $h_l < h_i$ bo'lgan holat uchun to'liq napor oqim bo'ylab oshib beradi.

E-E napor chizigi oqim bo'yicha ko'tarilib boradi. Rasmlardagi vaziyatlar faqat aniq bir vaqtga ta'luqliligini nazarda tutishimiz kerak.

6.5. SILINDRIK QUVURLARDAGI OQIMNING HARAKATINI HISOBLASH FORMULALARI

Silindrsimon quvurlar uchun qaralayotgan vaqt uchun

$$v_1 = v_2 \quad (6.41)$$

U holda Bernulli (6.35) tenglamasini qayta yozamiz:

$$(II)_{tsilindr} \quad a = h_l + h_i \quad (6.42)$$

(6.42) formulani o'ng tomondagi ikki hadni ko'rib chiqamiz.

1. h_l uzunlik bo'yicha napor yo'qolishi:

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} = \zeta_l \frac{v^2}{2g} \quad (6.43)$$

bunda ζ_l – uzunlik bo'yicha qarshilik koeffitsienti shartli ravishda barqaror harakat formulalari asosida hisoblanadi.

2) h_i – tsilindrsimon truboprovodlarda lokal inersiya kuchlarini hisobga oluvchi had

$$\omega = const \text{ (oqim uzunligi bo'yicha)}$$

shu sababli,

$$h_i = \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial s}{\omega} = \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial \left(\frac{Q}{\omega} \right)}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} ds = \alpha_0 \frac{l}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (6.44)$$

chunki,

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial s} \frac{ds}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (6.45)$$

Silindrsimon truboprovodlar uchun $\frac{\partial v}{\partial s} = 0$ bo'lganligi uchun.

$$(A)_{tsilindr} \quad \boxed{h_l = \frac{\alpha_0 l}{g} \frac{dv}{dt}} \quad (6.46)$$

bunda

$$s_2 - s_1 = l \quad (6.47)$$

3) Hisoblash formulasining yakuniy ko'rinishi.

$$(II)'_{tsilindr} \quad a = \zeta_l \frac{v^2}{2g} + \frac{\alpha_0 l}{g} \frac{dv}{dt} \quad (6.48)$$

Bu tenglamaga asoslanib, mahalliy napor yo'qolishlari yo'q bo'lgan quvurlar sistemasini hisoblash mumkin. Lekin, agar mahalliy yo'qolishlar $h_m \leq 5\% h_l$ bo'lgan holda ham bu formula o'rinlidir. Agar mahalliy yo'qolishlarni hisobga olib, quvurlar sistemasi hisob qilinsa, u holda (6.48) tenglamadagi ζ_l o'rniga ζ_f to'liq qarshilik koeffitsienti qo'yiladi:

$$\zeta_f = (\zeta_l + \Sigma \zeta_m) \frac{v^2}{2g}$$

6.6. SUYUQLIKNING SILINDRSIMON QUVURLARDAN ATMOSFERAGA OQIB CHIQISHI

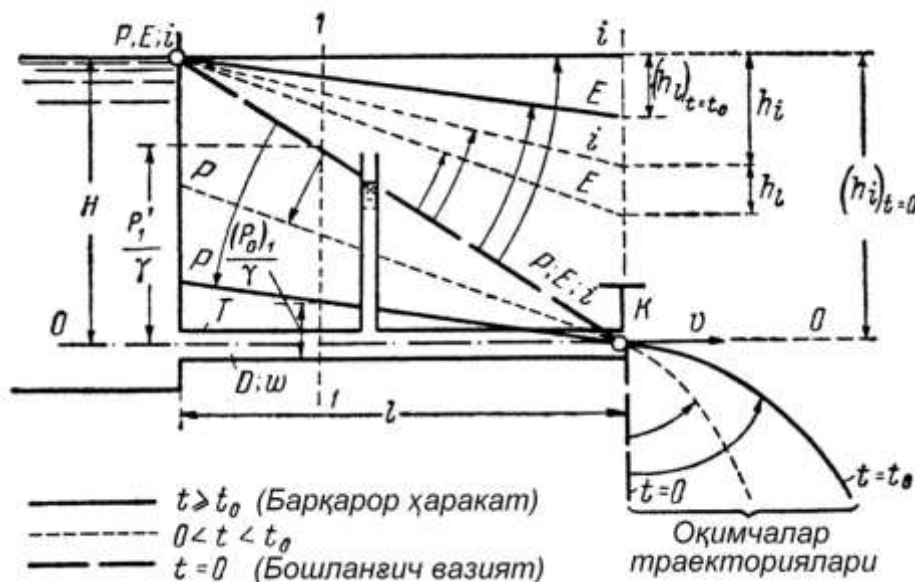
Bu vaziyatni o'rganib chiqish uchun 6.8-rasmda tasvirlangan suyuqlik to'ldirilgan idishga T quvur va uning tugash kesimida K kran o'rnatilgan.

Faraz qilaylik, K kran bir onda to'liq ochildi. Suyuqlikning oqib chiqishida ikki davrni ajratib ko'rsatish mumkin.

Birinchi davr:

$$0 < t < t_0 \quad (6.49)$$

bunda, t_0 – sekundning bir ulushi bilan o'lchanadi. Bu boshlang'ich davr beqaror harakat bilan xarakterlanadi. N napor (6.8-rasm) bu davrda h_l napor yo'qolishiga va quvo'rning chiqish kesimidagi $v^2/(2g)$ tezlik naporini shakllantirishga sarflanadi. t_0 vaqt ichida N napor hisobiga suyuqlikning kinetik energiyasi bosqichma-bosqich oshib, noldan barqaror harakatga xos kattalikkacha ko'tariladi.



6.8-rasm. K kranning bironda to'liq ochilishidan keyingi napor va pzometrik chiziqlar deformatsiyasi

Ikkinchi davr: $t \geq t_0$ (6.50)

Bu barqaror harakat davri. Bu holat bilan biz oldingi mavzularda tanishganmiz.

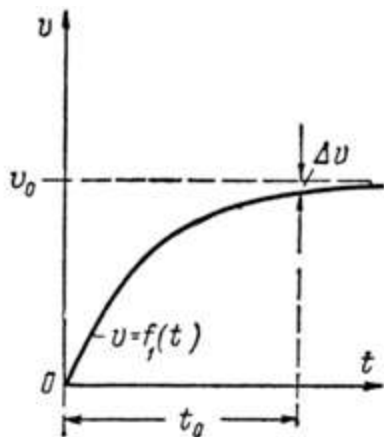
Birinchi davr – suyuqlikning quvurdagi harakati (II) 'tsilindr tenglamaga asosan tadqiqot qilinishi mumkin.

Vaqt kran ochildigandan so'ng hisoblanadi. Quvurga kirishdagi napor yo'qolishi hisobga olinmaydi, faqat uzunlik bo'yicha napor yo'qolishi hisobga olinadi.

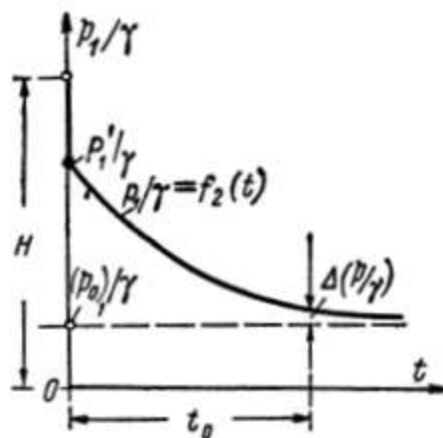
Tadqiqot natijalari quyidagicha:

1. K kran bir onda ochildigandan keyingi dastlabki lahzada suyuqlikning butun N napor suyuqlik massasi inersiyasini yengishga sarflanadi. Bunda quyidagilar o'rinaladi:

$$h_i = H; v = 0; v^2/(2g); h_i = 0. \quad (6.51)$$



6.9-rasm. *K* kran ochilgandan so'ng 1-1 kesimda vaqt o'zgarishi bilan tezlik o'zgarishi



6.10-rasm. *K* kran ochilgandan so'ng 1-1 kesimdagi *R* bosimning o'zgarishi

Demak, xulosa qilish mumkinki, dastlabki laxzada suyuqlik tinch holatda bo'ladi. *E-E*, *R-R*, *i-i* chiziqlar bir biri bilan ustma-ust tushadi. (6.9-rasmdagi qalin uzun chiziqlar).

Quvo'ning tugash qismida suyuqlik, dastlabki vaziyatda nol tezlikka ega bo'ladi. Bu «*oqib chiqish*» tezligidir. Suyuqlik quvurdan chiqishi bilan u pastga vertikal tushishi kerak.

2. *E-E*, *R-R*, *i-i* chiziqlar tarqala boshlashadi. *E-E* va *i-i* ko'tariladi. *R-R* pastlasha boshlaydi. (6.8-rasmda ingichka uzun chiziqlar bilan ko'rsatilgan). Oqimcha o'qi esa o'ng tomonga bosqichma-bosqich ko'chib, ko'tarila boshlaydi.

3. $t = t_0$ vaqtda *i-i* chiziq gorizontal vaziyatni egallaydi. ($h_i = 0$) *E-E* va *R-R* chiziqlar barqaror harakat shartiga mos keladi. Quvurdan chiqayotgan kesmaning urilish uzunligi, bu vaziyatda eng katta qiymatga erishadi, bu barqaror harakatga mos keladi.

4. Yuqoridagi muloxazalarga asosan, qarayotgan vaqt mobaynida quvurdagi v tezlik va p/γ pezometrik balandliklar 1-1 kesimda 6.9- va 6.10-rasmlardagi grafiklarda ko'rsatilgandek o'zgaradi. Bu rasmlarda v_0 va p_0/γ kattaliklar barqaror harakatga mos keladi.

Grafiklardan ko'rinib turibdiki, nazariy jixatdan beqaror harakat cheksiz davom etishi mumkin $t_0 = \infty$. v va p/γ kattaliklar asimptotik tarzda barqaror harakatga mos gorizontlarga yaqinlashishadi. Faqat Δv va $\Delta(p/\gamma)$ kattaliklarni inobatga olmasdan, t_0 – amaliy vaqtni olamiz. Bu vaqt davomida beqaror harakat mavjud bo'ladi.

(II) 'tsilindr tenglamani tahlil qilib, kranning yopilishidagi *E-E*, *R-R*, *i-i* chiziqlarning o'zgarishi harakatini ko'rishimiz mumkin. Bunda quvurda sekinlashuvchi harakat sodir bo'ladi.

II. SUYUQLIKNING SIQILUVCHANLIGI VA TRUBOPROVOD (QUVURLAR SISTEMASI) QATTIQ DEVORLARINING EGILUVCHANLIGI VA DEFORMASIYALANISHINI HISOBGA OLGAN HOLDA BEQAROR NAPORLI HARAKATI

6.7. GIDRAVLIK ZARB

*Naporli truboprovodlarda ularning ixtiyoriy kesimlaridagi suyuqlik harakatining o'rtacha tezligi keskin o'zgarishi natijasida gidrodinamik bosimning oshishi yoki kamayishi natijasida ro'y beradigan jarayon **gidravlik zarb** deyiladi.* Bu hodisa truboprovod ichidagi vaqt mobaynida tezligi o'zgaruvchan suyuqlik massasi inersiyasi hisobiga paydo bo'ladi. Boshqacha so'z bilan ifodalaydigan bo'lsak, bu hodisa yuqori yoki past bosimli to'lqinlarning paydo bo'lishi bilan xarakterlanadi.

Truboprovodda gidravlik zarb nixoyatda katta qiymatga erishishi mumkin: harakat tezligi o'zgarishi hisobiga naporli truboprovoddagi bosim sezilarli o'zgarishi mumkin. Shu sababli, truboprovodning devorlari qalinligini hisoblashda (masalan, gidrostantsiyalar truboprovodlarini) gidravlik zarb kattaligini hisobga olishga to'g'ri keladi.

Faraz qilaylik, truboprovodning tugash qismiga K kran o'rnatilgan. Kraning yopilishi bilan truboprovod ichidagi suyuqlik o'z inersiyasi hisobiga K kranga katta bosim bilan tasir etadi.

Agar bu vaziyatda, suyuqlikning siqilishi va truboprovod devorining deformatsiyalanishi bo'lmaydi deb fikr yuritsak, juda katta absolyut qattiq zarbga ega bo'lishimiz kerak. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, bu ancha xaqikatdan yirok.

Gidravlik zarb xodisasi harakateriga suyuqlikning siqiluvchanligi va truboprovod devori gidromexanik bosim o'zgarishi bilan deformatsiyalanishi sezilarli tasir ko'rsatadi. Shu vaziyatni inobatga olgan holda quvurga o'rnatilgan K kranning ochilishi yoki yopilishida absolyut qattiq zarbdan sifat jixatdan farq qiluvchi elastik zarb hosil bo'ladi. Elastik zarb jarayonida truboprovod bo'ylab to'lqin bo'lib tarqalib, bu to'lqin xodisasi keskin ifodalanadi. Shuning uchun gidravlik zarbni o'rganishda, albatta bu xodisani hisobga olish kerak.

Gidravlik zarb xodisasini Moskva vodoprovod sistemasida tadqiqotlar o'tkazish natijasida N.Ye.Jukovskiy 1898 yilda yetarli darajada o'rganib, uning differentsial tenglamasini taklif qilib, uni to'liq yechimini olishga erishgan.

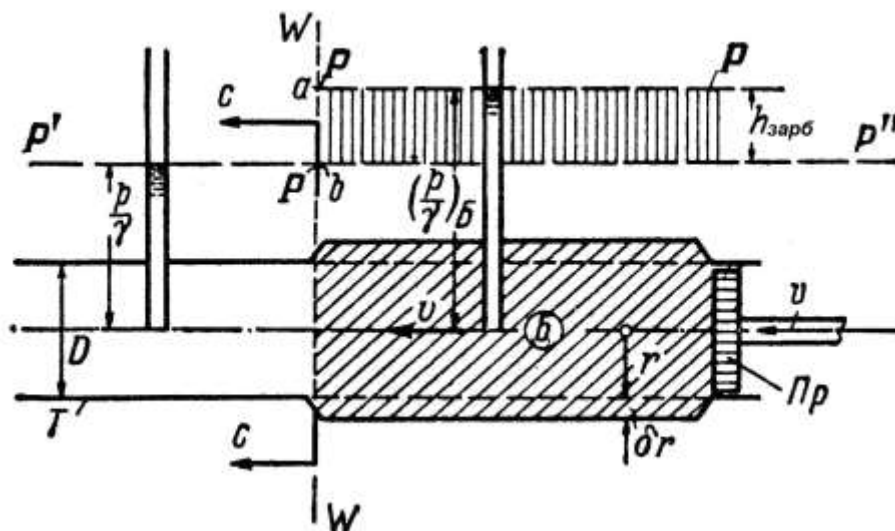
N.Ye.Jukovskiy asosiy formulalarni suyuqlikning harakat soni teoremasi va uzluksizlik tenglamasi asosida olish mumkin.

6.8. GIDRAVLIK ZARB XODISASINI TASVIRLASH

Faraz qilaylik, gorizontal vaziyatdagi T quvurga Pr porshen kiritilgan (6.11-rasm).

Porshen va suyuqlik tinch turgan holatda butun quvur bo'ylab, malum bir $P'P''$ chiziq bilan ifodalangan bosim mavjud bo'ladi. Faraz qilaylik, $t=0$, bir onda v tezlik bilan porshen harakatlana boshladi, suyuqlik siqilmas va quvur devorlari

deformatsiyalanmaydigan holatda $t=0$ oniy vaqtda suyuqlik ham v tezlik bilan harakatlana boshlaydi.



6.11-rasm. Pr porshenning v tezlik bilan harakati boshlangandan so'ng B tasirning (s tezlik bilan) tarqalishi

Suyuqlik siqiluvchan va quvur devorlari deformatsiyalanadigan holatda esa boshkacha vaziyat bo'ladi.

Bunday holatda Pr porshen o'z harakati natijasida, quvurdagi suyuqlikni bosqichma-bosqich harakatga keltira boshlaydi. Bu vaziyat bir tomondan suyuqlikni siqiluvchaniligi va quvur devori deformatsiyalanishi natijasida ro'y bersa, ikkinchi tomondan suyuqlikning inersiya kuchi tufayli ro'y beradi. t' vaqt oralig'i uchun (porshen harakati boshlangandan so'ng) $W-W$ chegaraviy vertikalga ega bo'lamiz. Bu vertikal quvurdagi suyuqlikni ikki hajmga ajratadi (rasmga qarang).

a) $W-W$ vertikaldan chap tomondagi xajm; Bu yerda suyuqlik hozircha tinch holatda joylashgan. p/γ bosim porshen harakatga kelmasdan oldingi bosimga teng;

b) $W-W$ vertikal o'ng tomonidagi hajm; Bu sohada suyuqlikning ixtiyoriy kesimdagi harakat tezligi porshenning harakat tezligi (v) ga teng. Shuni ta'kidlash muhimki, chap tomonda porshen v tezlikda harakatlanish bilan chegaraviy vertikal $W-W$ ham chapga tomonga s tezlik bilan harakatlana boshlaydi. Bu s tezlik v kattalikdan yuqori bo'ladi.

$$c \gg v \quad (6.52)$$

B sohani suyuqlikning qo'zg'aluvchi yoki elastik deformatsiya sohasi deb ataladi; s – suyuqlik qo'zg'alishining tarqalish tezligi deyiladi yoki suyuqlikning elastik deformatsiyasi tezligi deb ataladi.

(6.52) munosabatga asosan, qo'zg'alish sohasi uzunligi vaqt o'tishi bilan oshishi kerak: Porshen bilan $W-W$ vertikal tekislik o'rtasidagi masofa noldan eng katta qiymatga oshishi kerak. $W-W$ harakatlanuvchi chegaraga ega B qo'zg'aluvchi soha quyidagi vaziyatlar bilan baholanadi:

1) soha ichidagi gidrodinamik bosim $h_{zap\delta}$ balandlik bilan o'lchanuvchi yuqori qiymatga ega bo'ladi:

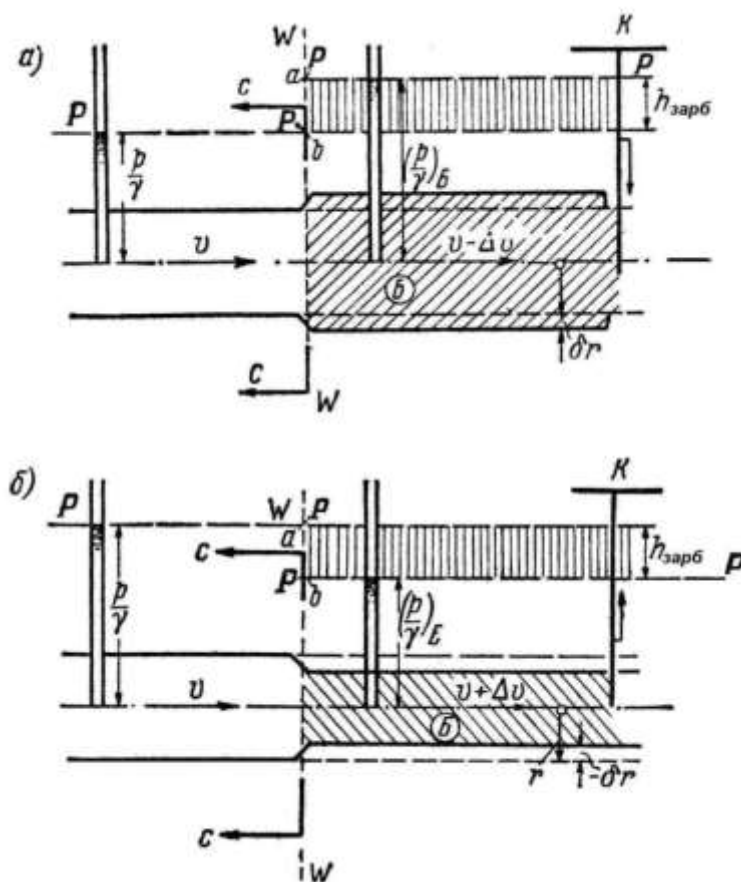
$$h_{zap\delta} = \left(\frac{p}{\gamma} \right)_B - \frac{p}{\gamma} \quad (6.53)$$

bunda $(p/\gamma)_B$ – B sohaga mos keluvchi pzometrik balandlik; p/γ porshen harakatga kelgunga kadar mavjud bo'lgan quvur ichidagi bosim.

Qo'zg'alish to'liqlinini ko'rsatuvchi $h_{zap\delta}$ 6.12-rasmida uzun vertikal chiziqlar bilan to'rtburchak shaklida ifodalanadi; bunda ab to'liqin peshonasi $W-W$ vertikal tekislik bilan birgalikda c tezlik bilan chapga harakatlanishi kerak. Shu sababli, c tezlikni truboprovodda yuqori bosim tarqalishi tezligi sifatida qarash mumkin.

2) B qo'zg'alish sohasidagi yuqori bosimga muvofiq suyuqlikning siqilishi oshadi (suyuqlikning zichligi oshadi), elastik devor esa δr kattalikka ezadi.

Bu holat porshenning tinch holatdagi suyuqlik bilan to'ldirilgan quvurdagi harakatda ro'y beradi. Bunda va bundan keyin napor yo'qolishini hisobga olmaymiz. Xuddi shunday holat suyuqlik quvurda v tezlikda harakatlanayotganda $t=0$ bir onda harakatsiz porshen yoki zadviyka bilan yopilganda ham ro'y beradi. Bu $t=0$ daqiqada B qo'zg'alish sohasi zadviyka atrofida paydo bo'ladi. Bunda $W-W$ chegaraviy tekislik s tezlik bilan quvur bo'ylab harakatlana boshlaydi. Bu holat zadviykaning yopilishi 6.12, a -rasmida tasvirlangan.



6.12-rasm. Gidravlik zarb xodisasi:
a) K kran yopilganda; b) K kran ochilganda.

Bu rasmda zadvijskaning qisman yopilishi, yani tezlik v quvo'ring tugashida 0 gacha emas, balki $(v - \Delta v)^2$ kattaligacha kamayadi. Bunda $\pm \Delta v$ – tezlik o'zgarishi.

Agar zadvijska ochilsa, v tezlik $(v + \Delta v)$ ga oshsa, 6.12, b-rasmdagi vaziyat ro'y beradi. Bu to'liq quvur bo'ylab, s tezlik bilan tarqaladi.

Gidravlik zarbni o'rganishda quyidagi analogiyani nazarda tutish maqsadga muvofiq bo'ladi. Katta uzunlikka ega bo'lgan spiralsimon prujinani faraz qilaylik. Aytaylik, u gorizantal tekislikka bosiladi. Pруjina tekislikka tekkunga qadar uning bog'lamlari orasidagi masofa deyarli bir xil bo'ladi. Pруjina gorizantal tekislikka tekkandan keyin 6.13-rasmdagi ko'rinishda bo'ladi. s tezlik bilan harakatlanayotgan W-W tekislikdan pastki bog'lamlar o'rtasidagi masofa nixoyatda kichik bo'ladi. (bu B qo'zg'alish soxasiga mos keladi). Shundan ko'rinib turibdiki, tasvirlangan jarayon quyidagi ikki holat bilan xarakterlanuvchi gidravlik zarb xodisasidir.

1) h_{zapb} bosimning o'zgarishi (manfiy yoki musbat). Bu gidravlik zarb kattaligini aniqlaydi;

2) qo'zg'alishning tarqalish tezligi s yoki gidravlik zarb tarqalish tezligi.

Yuqoridagi mulohazalarga tayanib, gidravlik zarbning paydo bo'lishini quyidagicha izohlashimiz mumkin:

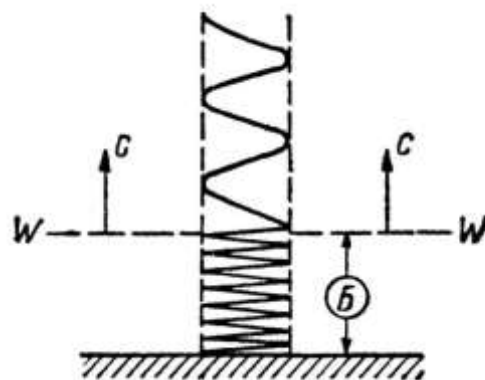
boshqaruv yoki to'sish inshootlarining keskin ochilishi yoki yopilishi;

quvurlar sistemasini suv bilan to'ldirish vaqtida gidrantlar orqali havoning chiqarilishida;

nasoslarning favqulodda holatda to'xtatilganda;

naporli quvurdagi kran ochiq holatda nasosni qo'shganda.

Endi bu kattaliklarning aniqlash formulalari bilan tanishamiz.



6.13 rasm. Gidravlik zarbni tushuntirish

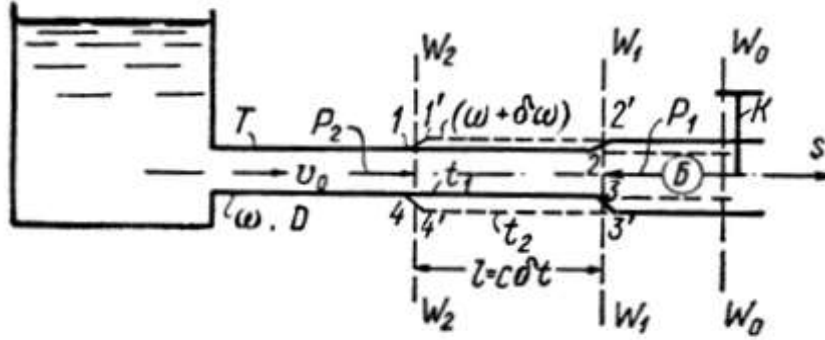
6.9. GIDRAVLIK ZARB KATTALIGI VA UNING TARQALISH TEZLIGINI HISOBLASH FORMULALARI

Tugash kesimiga o'rnatilgan qisman ochiq K kranli T tsilindrsimon truboprovod $W_0 - W_0$ kesimidagi oqimning o'rtacha tezligini v_0 deb qabul qilamiz (6.14-rasm).

Faraz qilaylik, $t = 0$ vaziyatda K kranning ochiqligi bir onda o'zgaradi, shu sababli, $W_0 - W_0$ kesim tezligi ham bir onda o'zgaradi (masalan kamayadi). Bu kamayish Δv ga teng. K kran atrofida B qo'zg'alish sohasi paydo bo'ladi.

Ixtiyoriy t_1 vaqt oralig'ida qo'zg'alish sohasi chegarasi $W_1 - W_1$ vaziyatni egallaydi deb hisoblaymiz: $t_2 = t_1 + \delta t$ vaqt oralig'ida chegara $W_2 - W_2$ vaziyatga ko'chadi. Vertikallar orasidagi farq

$$l = c dt \quad (6.54)$$



6.14-rasm. (6.50) va (6.51) formulalar keltirib chiqarishga doir.

$W_1 - W_1$ va $W_2 - W_2$ kesimlar bilan chegaralangan $W_1 - W_2$ bo'limga uzluksizlik tenglamasini va harakat miqdori teoremasini qo'llab quyidagi bog'liqliklarni olamiz:

a) $h_{3ap\delta}$ kattalik uchun bog'liqdir.

1⁰. Uzluksizlik tenglamasi. Bu tenglamadan foydalanishimizda suyuqlikni siqilmas deb qabul qilganimiz sababli, suyuqlik xajmi bilan emas, shunga mos suyuqlik massasi bilan ish olib boramiz. $W_1 - W_1$ va $W_2 - W_2$ kesimlarni qo'zg'almas deb qabul qilamiz.

Quyidagi belgilashlar kiritamiz.

m_1 - $W_1 - W_1$ kesimdan dt vaqt oralig'ida oqib o'tayotgan suyuqlik massasi;

m_2 - $W_2 - W_2$ kesimdan dt vaqt oralig'ida oqib o'tayotgan suyuqlik massasi;

M_{t_1} - $W_1 - W_2$ bo'lak 1-2-3-4 ko'rinishga ega bo'lganda t_1 vaqt oralig'idagi suyuqlik massasi;

M_{t_2} - $W_1 - W_2$ bo'lim 1'-2'-3'-4' ko'rinishga ega bo'lganda t_2 vaqt oralig'idagi massasi;

Shubhasiz

$$m_2 - m_1 = M_{t_2} - M_{t_1} \quad (6.55)$$

$m_2 - m_1$ farq bu dt vaqt oralig'ida $W_1 - W_2$ kirib kelgan suyuqlik massasidir;

$M_{t_1} - M_{t_1}$ esa dt vaqt oralig'ida $W_1 - W_2$ bo'limdagi suyuqlik massasining ortishi.

Bu yuqoridagi ifodaga kiruvchi kattaliklarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$m_2 = \frac{\gamma}{g} \omega u_0 dt \quad (6.56)$$

$$m_1 = \frac{(\gamma + d\gamma)}{g} (\omega + d\omega) (v_0 dv) dt \quad (6.57)$$

$$M_{t_2} = \frac{(\gamma + d\gamma)}{g} (\omega + d\omega) (cdt) \quad (6.58)$$

$$M_{t_1} = \frac{\gamma}{g} \omega l = \frac{\gamma}{g} \omega (cdt) \quad (6.59)$$

bunda ω , γ , ν_0 – $W_2 - W_2$ vertikal tekislikdan chapga harakatlanayotgan suyuqlikning harakatdagi kesim yuzasi, xajmiy og'irligi va tezligi:
 $(\omega + d\omega)$, $(\gamma + d\gamma)$, $(\nu + d\nu)$ – $W_1 - W_1$ tekislikdan o'ngdagi suyuqlik uchun kesim yuzasi, xajmiy og'irlik va tezlik, $\gamma/g = \rho$ suyuqlik zichligi bu munosabatlari (6.56), (6.58) ifodalarni (6.55) ga qo'yamiz va nihoyatda kichik bir qator hadlarni tashlab yuborib, quyidagiga ega bo'lamiz.

$$\Delta\nu = -\left(\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{d\omega}{\omega}\right)c \quad (6.60)$$

2^o. Harakat miqdori teoremasi. Quyidagi belgilashlar kiritamiz:

(HM) $t_1 - W_1 - W_2$ bo'lim 1-2-3-4 ko'rinishga ega bo'lganda uning ichidagi suyuqlik massasining t_1 vaqt oralig'ida harakat miqdorini s o'qqa proektsiyasi:

$$(HM) \quad t_1 = M_{t_1} \mathcal{G}_0 \quad (6.61)$$

(HM) $t_2 - W_1 - W_2$ bo'lim 1'-2'-3'-4' ko'rinishga ega bo'lganda, uning ichidagi suyuqlik massasining t_2 vaqt oralig'ida harakat miqdorining s o'qqa proektsiyasi shubhasiz

$$(HM) \quad t_2 = M_{t_2} (\nu_0 + \Delta\nu) \quad (6.62)$$

$(KH)_2 - P_2$ kuch impulsining dt vaqt oralig'idagi miqdorining s o'qqa proektsiyasi, bunda shubxasiz quyidagini yozish mumkin:

$$(KH)_2 = P_2 dt = p\omega dt \quad (6.63)$$

Ko'paytiruvga kirgan $d\omega d\gamma$, $\nu_0 dy$, $d\nu d\gamma$, $\nu_0 d\omega$, $d\nu d\omega$ hadlar, $cd\gamma$, $cd\omega$ lardan juda kichik bo'lganligi sababli, u hadlar tashlab yuboriladi. Kran yopilganda $d\omega$ manfiy qiymatga ega bo'ladi.

$d\gamma$ va $d\omega$ lar esa musbat qiymatga ega bo'ladi. Kran ochilganda teskari vaziyat bo'ladi. Har ikkala holda ham s kattalik musbat qiymatga ega bo'ladi.

$(KH)_1 - P_1$ kuch impulsining dt vaqt oralig'idagi s o'qqa proektsiyasi, shubxasiz

$$(KH)_1 = -P dt = -(P + P_{y\partial})(\omega + \delta\omega) dt \quad (6.64)$$

bunda $(P + P_{y\partial}) - W_1 - W_2$ tekislikdan o'ngdagi gidrodinamik bosim;

$$P_{y\partial} = \rho h_{y\partial}$$

Harakat miqdori tenglamasiga asosan:

$$(XM)t_2 - (XM)t_1 = (KH)_2 - (KH)_1 \quad (6.65)$$

Bu ifodaga (6.61) va (6.64) ifodalarni qo'yib, keyin (6.59) va (6.65) ifodalarni hisobga olib, bir qancha kichik hadlarni tashlab yuborib, harakat tenglamasini (6.55) ko'rinishda yozamiz.

$$h_{3ap\delta} = \frac{P_{3ap\delta}}{\gamma} = -\frac{c}{g} d\nu \quad (6.66)$$

3^o. (6.65) va (6.66) tenglamalarni birgalikdagi yechimi.

$$\frac{P_{3ap\delta}}{\gamma} \frac{g}{c} = \left(\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{d\omega}{\omega}\right)c \quad (6.67)$$

bunda

$$\frac{d\gamma}{\gamma} = \frac{P_{\text{zap}\delta}}{E_{\text{жс}}} \quad (6.68)$$

$$\frac{d\omega}{\omega} = \frac{Dp_{\text{zap}\delta}}{eE_T} \quad (6.69)$$

(6.68) , (6.69) ifodalarni (6.67) ga qo'yib, uni s ga nisbatan yechib, biz izlanayotgan (6.72) ifodani olamiz.

$$h_{\text{zap}\delta} = \frac{P_{\text{zap}\delta}}{\gamma} = -\frac{c}{g} d\nu \quad (6.70)$$

bunda $\Delta\nu$ – suyuqlikning musbat yoki manfiy o'zgarishi (vaqt davomida) .

Agar $\Delta\nu$ manfiy ishoraga ega bo'lsa, gidravlik zarb kattaligini musbat qiymatiga ega bo'lamiz va qo'zg'aluvchi to'liqin sustlashuvi bo'ladi. Xuddi mana shu ifoda *ko'rinishida gidravlik zarb kattaligi* ifodalanadi.

Kran to'liq yopilgan holatda

$$\Delta\nu = -\nu_0 \quad (6.71)$$

bo'lib, gidravlik zarb quyidagicha aniqlanadi.

$$h_{\text{zap}\delta} = \frac{c}{g} \nu_0$$

b) s qo'zg'alishning tarqalish tezligi kattaligini aniqlash formulasi (aylana quvur uchun) :

$$c = \sqrt{\frac{g}{\gamma} E_{\text{жс}}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{D E_{\text{жс}}}{e E_T}}} \quad (6.72)$$

bunda:

$E_{\text{жс}}$ – suyuqlikning xajmiy elastikligi moduli;

E_T – quvur devori elastikligi moduli;

D – quvur ichgi deametri;

e – quvur devori qalinligi.

$$\sqrt{\frac{g}{\gamma} E_{\text{жс}}} = c_0 \quad (6.73)$$

Bu kattalik ovozining tinch holatdagi suyuqlikda tarqalish tezligi –suv uchun

$$c_0 = 1425 \text{ m/s} \quad (6.74)$$

Bu ifodani hisobga olsak, suv bilan to'liq harakatlanayotgan ingichka devorli quvur uchun

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{D E_{\text{жс}}}{e E_T}}}, \text{ m/s} \quad (6.75)$$

Demak, berilgan suyuqlik uchun

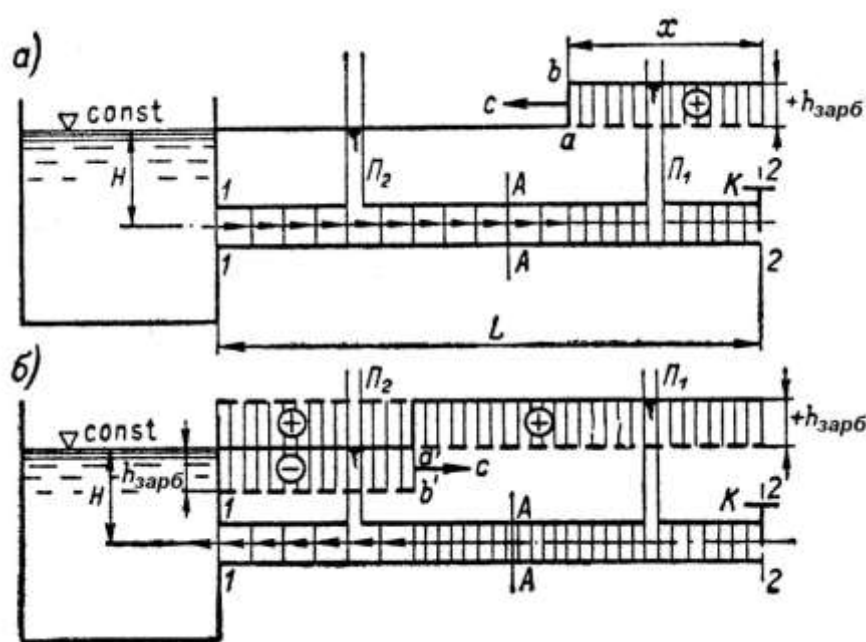
$$c = f\left(\frac{D}{e} \div \frac{E_{\text{жс}}}{E_T}\right) \quad (6.76)$$

Bu s kattalik bir necha yuz yoki ming metr/sek kattalik bilan o'lanishi mumkin.

6.10. TO'G'RI (BOSHLANG'ICH) VA QAYTARILGAN GIDRAVLIK ZARBLAR. QUVO'RNING QO'ZG'ALMAS KO'NDALANG KESIMIDA GIDRAVLIK ZARB RO'Y BERGANDA GIDROMEXANIK BOSIMNING TEBRANISHI

Gidravlik zarb xakida to'liq tushunchaga ega bo'lishimiz uchun quyidagi muhim vaziyatni hisobga olishimiz kerak.

Bir tomoni ochiq ikkinchi tomonida K kran o'rnatilgan $a)$ quvo'rning ichida suyuqlik to'ldirilgan holatni ko'rib chiqamiz (qarang 6.14-rasm 1-1 va 2-2 kesimlar).



6.15-rasm. To'g'ri (boshlang'ich) va qaytarilgan gidravlik zarblar

Yuqoridagi muloxazalardan malumki, kran bir onda yopilganda suyuqlikda quvur bo'ylab harakatlanuvchi ab vertikal "peshona"ga ega musbat to'lqin paydo bo'ladi.

Bu to'lqin 1-1 kesimga yetib borishi bilan bu kesimda xuddi shu to'lqinni oynadagi aksi kabi 180° ga burilgan $a'b'$ "peshonali" s tezlik bilan musbat to'lqinga qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan (6.15, b -rasm) manfiy to'lqin paydo bo'ladi. To'g'ri (boshlang'ich) to'lqining musbat bosimi manfiy to'lqin bosimi bilan qo'shiladi. Natijada, qaytarilgan to'lqin egallab turgan qaralayotgan uchastkadagi berilgan vaqtda gidravlik zarb tufayli paydo bo'lgan bosim nolga teng bo'ladi. (Π_2 ga qarang).

Bu manfiy to'lqin (2-2) kesimga yetib borishi bilan bu to'lqinga aks ko'rinishida s tezlik bilan unga teskari yunalgan manfiy to'lqin paydo qiladi.

Shuni ta'kidlash mumkinki, doim ochiq tomondagi quvo'rning 1-1 kesimida xar doim kaytarilgan teskari ishorali to'lqin paydo bo'lsa, yopilgan quvur

tomonidan 2-2 kesimda xuddi shu to‘lqin ishorasidagi, to‘g‘ri to‘lqinlardagi kabi to‘lqinlar paydo bo‘ladi.

ab to‘lqin “peshonasini” 2-2 kesimdan 1-1 kesimgacha bo‘lgan masofani bosib o‘tish t_0 bilan belgilaymiz.

$$t_0 = \frac{L}{c} \quad (7-77)$$

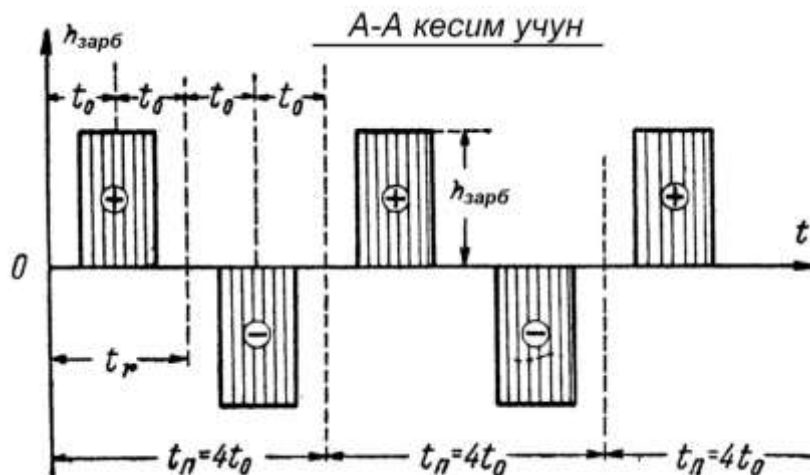
bunda L – quvur uzunligi. Bunda quyidagilarni tanlaymiz:

- a) $t = t_0$ vaqt vaziyatida (bu vaqt kran yopilgan vaqtdan hisoblanadi), quvo‘rning butun uzunligi bo‘ylab bosim bir xil bo‘lib, $+h_{zapb}$ ga teng bo‘ladi;
- b) $t_2 = 2t_0$ vaqtda esa bosim butun quvur bo‘ylab nolga teng bo‘ladi. (idishdagi suyuqlik sarfiga mos);
- c) $t_3 = 3t_0$ vaqtda ham bosim butun quvur bo‘ylab bir xil bo‘lib, $-h_{zapb}$ ga teng;
- d) $t_4 = 4t_0$ vaqtda ham bosim butun quvur bo‘ylab bir xil bo‘lib, u nolga teng va x. k.

Demak, ixtiyoriy ko‘ndalang kesimdagi bosimning t_n tebranish davri L masofadagi to‘lqinning o‘tish vaqtining to‘rtga ko‘paytirilganiga teng.

$$t_n = 4l_0 = 4\frac{L}{c}$$

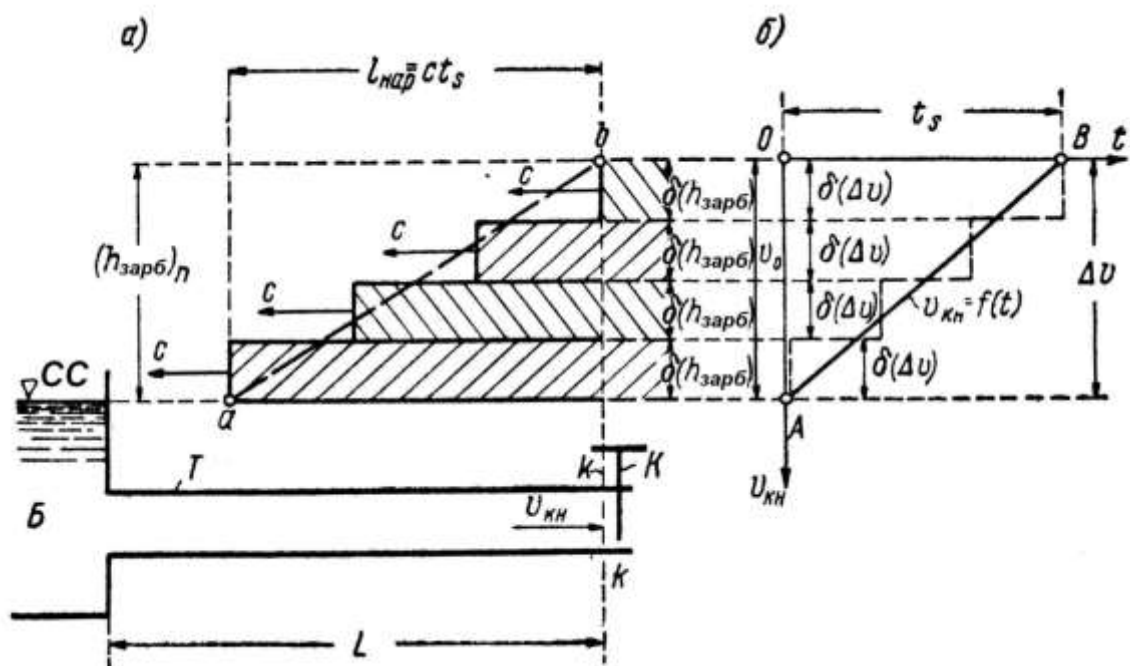
Agar quvurda A-A qo‘zg‘almas ko‘ndalang kesim tanlab olinsa, bu kesimda bosimning vaqt buyicha o‘zgarishi 6.16-rasmda ko‘rsatilgadek ro‘y beradi. Bunday tebranish ideal holatdagi suyuqliklar uchun o‘rinlidir. Real suyuqliklar uchun tebranish bosqichma-bosqich so‘nib borishi kerak.



6.16-rasm. Quvo‘rning qo‘zg‘almas ko‘ndalang kesimdagi gidromexanik bosim tebranishi. (gidravlik zarb ro‘y berganda)

6.11. KRANNING BOSQICHMA-BOSQICH YOPILISH HOLATI. TO‘LIQ VA CHALA GIDRAVLIK ZARBLAR

Faraz qilaylik, nixoyatda uzun (T) truboprovoddan suyuqlik atmosferaga okib chiqayotgan bo‘lib, truboprovodning ikkinchi tomoni B idishga tutashtirilgan (6.17, a -rasm).



6.17-rasm. K kranning sekin-asta yopilishi holatida gidravlik zarbning oshishi

Truboprovodning tugashiga oʻrnatilgan K kran bosqichma-bosqich shunday yopiladiki, quvoʻrning tugash kesmidagi v_{KH} tezlik chiziqli konuniyat asosida $v_{KH} = v_0$ dan $v_{KH} = 0$ gacha oʻzgaradi (AV chiziqqa qarang) bunda v_{KH} kran toʻliq ochiq boʻlganda mavjud boʻlgan beqaror harakatlanayotgan oqimning oʻrtacha tezligi.

Kranning toʻliq yopilishi vaqtini t_1 deb belgilaymiz. t_s kran yopila boshlagandan hisoblanadigan vaqtda quvoʻrning tugash qismidagi tezlik $\Delta v = v_0$ kattalikka kamayadi va nolga teng boʻladi. Faraz qilaylik v_{KH} tezlik chiziqli konuniyat asosida emas, pogʻona shaklidagi grafik asosida kamaysin. Pogʻona balandlikni $\delta(\Delta v)$ kattalik bilan belgilaymiz.

v_{KH} tezlikni $\delta(\Delta v)$ elementar kattalikka kamaytirib, quvurda elementar gidravlik zarb paydo qilamiz.

$$(h_{zap6}) = \frac{C}{g} \delta(\Delta v) \quad (6.78)$$

Quvurga soʻngi (h_{zap6}) elementar gidravlik zarbni borgan t_s vaqtda, bosim oshishi pogʻonali grafigiga ega boʻlamiz. (6.17, a-rasmda uzuq chiziqlar bilan ifodalangan.

$$\text{Bu holatda,} \quad (h_{zap6})_m = \frac{c}{g} v_0 \quad (6.79)$$

$(h_{zap6})_m$ – toʻliq gidravlik zarb deb ataladi.

6.17, a-rasmdagi grafikdan quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

a) kran toʻliq yopilgandagi t vaqtda kran atrofida toʻliq gidravlik zarb paydo boʻladi:

$$(h_{zap6})_m = \sum d(h_{zap6}) = \frac{c}{g} v_0 \quad (6.80)$$

Bu kattalik mikdori bu yerda keyinchalik ham saqlanib qoladi;
 b) to‘liq zarbning o‘shish uzunligi, yani to‘lqin grafigi uzunligi, bu oraliqda bosim noldan $(h_{\text{zarb}})_m$ gacha oshadi.

$$l_{ycuu} = ct_s \quad (6.81)$$

Endi pog‘ona balandligi $\delta(\Delta v)$ ni nolgacha kamaytiramiz, yani pog‘onali grafikni AV to‘g‘ri chiziqqa yakinlashtiramiz (6.17, b-rasm) .

Bunda (6.80) va (6.81) formulalar uz kuchini saqlab koladi, grafikda esa “peshona” ko‘rinish qirrali shakl oladi. 6.17,a va 6.18-rasmlarda *ab* chiziq bilan ko‘rsatilgan.

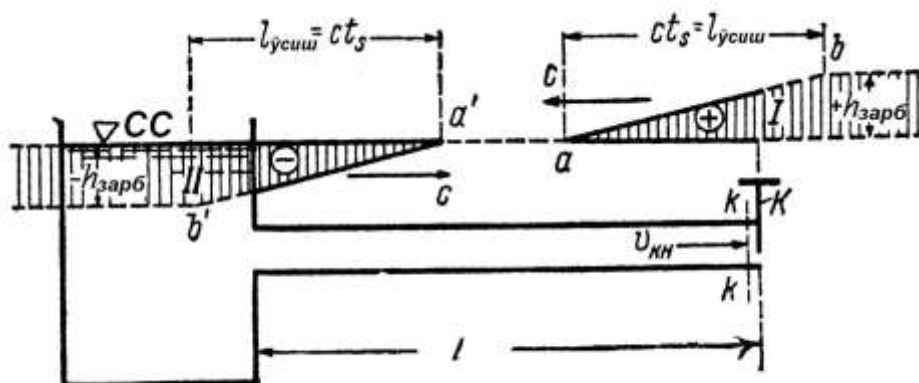
Shuni takidlash keraki, kran, bosqichma-bosqich yopilganda quvo‘rning tugash kesmidagi v_{KH} tezlik chiziqli qonuniyat asosida kamayib, quyidagiga ega bo‘lamiz:

- a) to‘lqin “peshona”si qiya *ab* chiziq shaklida bo‘ladi;
- b) bu “utkir kirrali peshona” uzunligi $l_{ycuu} = ct_s$;
- c) to‘liq zarb t_s vaqt vaziyatida paydo bo‘lib, zarb kattaligi keyinchalik ham saqlanib qoladi.

Biz yuqorida nixoyatda uzun quvur bilan tanishib, unda doimo to‘liq zarb bo‘lishini ko‘rdik. Har qanday uzunlikdagi quvurlar uchun ular bosqichma-bosqich yopilganda ikki xil holat bo‘ladi:

- 1) to‘liq gidravlik zarb holati;
- 2) chala gidravlik zarb holati.

Chala gidravlik zarb holati bilan tanishish uchun 6.18-rasmdan foydalanamiz.



6.18-rasm. To‘liq va chala gidravlik zarblarni tushuntirish uchun

K kranning bosqichma-bosqich yopilishida bosimning musbat to‘lqini idishdan kaytib (I) manfiy qaytgan to‘lqinga aylanadi. (II) bu vaziyatda l_{ycuu} – to‘lqin zarb o‘shish uzunligi quvo‘rning ikqilangan qiymatidan katta bo‘ladi.

$$l_{ycuu} > 2L \quad (6.82)$$

Gidravlik zarb K kranning yopilish jarayonida malum bir vaqt davomida o‘zining to‘liq qiymatiga yetishmasdan manfiy qaytgan to‘lqin kranga yetib borib, musbat to‘lqin bilan ustma-ust tusha boshlashi sababli, o‘shishdan to‘xtaydi.

Xulosa qilib aytish mumkinki:

- 1) **To'liq gidravlik zarb deb**, kaytuvchi zarb bilan kamaymaydigan to'g'ri (boshlang'ich) gidravlik zarbning bosqichma-bosqicherishgan eng katta qiymatiga aytiladi.
- 2) **Chala gidravlik zarb deb**, to'g'ri gidravlik zarb paydo bo'lgan joydagi shunday gidravlik zarbning eng katta qiymatiga aytiladiki, bundaqaytgan zarb to'g'ri gidravlik zarbning bosqichma-bosqichoshib, o'zining to'liq qiymatiga erishib ulgurmasidan, yuqoridagi joyga yetib kelib ulguradi.

To'liq gidravlik zarb quyidagi formula asosida ifodalanadi:

$$(h_{3ap\delta})_n = \frac{c}{g} v_0$$

To'liq bo'lmagan gidravlik zarb esa

$$(h_{3ap\delta})_{m,\delta} < (h_{3ap\delta})_m \quad (6.83)$$

yoki

$$(h_{3ap\delta})_{m,\delta} < \frac{c}{g} v_0 \quad (6.84)$$

To'liq bo'lmagan zarbning paydo bo'lish zarbi

$$ct_0 > 2L \quad (6.85)$$

yoki

$$\boxed{t_s > t_r} \quad (6.86)$$

bunda

$$t_r = \frac{2L}{c} \quad (6.87)$$

bunda t_r – bosim to'liqlining ruparasidagi nuqtaning idishgacha va idishdan orqaga krangacha o'tish masofasi uchun ketgan vaqt. To'liq bo'lmagan gidravlik zarb $(h_{3ap\delta})_{m,\delta}$ kattaligi t_r vaqtdagi gidravlik zarb kattaligi $(h_{3ap\delta})_m$ ga teng.

Vaqt t_r tugashi bilan gidravlik zarb o'sishdan to'xtaydi (kranning yopilishi davom etsa ham).

$(h_{3ap\delta})$ kattalikni quyidagicha munosabatdan aniqlaymiz.

$$\frac{(h_{3ap\delta})_r}{(h_{3ap\delta})_m} = \frac{t_r}{t_s} \quad (6.88)$$

bundan

$$(h_{3ap\delta})_r = \frac{t_r}{t_s} (h_{3ap\delta})_m \quad (6.89)$$

(6.89) formula $(h_{3ap\delta})$ o'rniga $(h_{3ap\delta})_{m,\delta}$ va t_r hamda $(h_{3ap\delta})_m$ lar o'rniga ularning (6.87) va (6.79) ifodalaradagi qiymatlarni qo'yamiz:

$$(h_{3ap\delta})_{m,\delta} = 2 \frac{v_0 L}{gt_s} \quad (6.90)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, truboprovoddagi bosimni kamaytirish uchun truboprovod uzunligi (L) ni kamaytirib kranning yopilish vaqti t_s ni oshirish kerak.

VI BOBGA DOIR TEST NAZORAT SAVOLLARI

1. Real holatdagi suyuqlikning butun oqimi uchun Bernulli tenglamasini inersiya kuchlarini hisobga olgan holdagi ko‘rinishini yozing.

a) $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \pm \Delta E = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h_l' + h_i';$

b) $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \pm \Delta E = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g};$

c) $z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h_l' + h_i';$

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

2. Gidravlik zarb nima?

a) Chuqurlik keskin oshganda ro‘y beradigan jarayon;

b) Harakatlanayotgan suyuqlikning ixtiyoriy bir kesimida sarfning keskin o‘zgarishi natijasida ro‘y beradigan gidravlik jarayon;

c) Harakatlanayotgan suyuqlikning barcha kesimlarida tekislikning keskin o‘zgarishi natijasida ro‘y beradigan gidravlik jarayon;

d) Harakatlanayotgan suyuqlikning ixtiyoriy bir kesimida tekislikning keskin o‘zgarishi natijasida ro‘y beradigan gidravlik jarayon.

3. To‘g‘ri va qaytgan gidravlik zarblar o‘rtasidagi tafovut nimadan iborat?

a) Yo‘nalishlarida;

b) To‘lqinlar o‘lchamlarida;

c) To‘lqinlar tezliklarida;

d) Xarakteristikalarida.

4. Suyuqlik oqimining siqilmas deb qaralgan holati uchun beqaror naporli harakatni izohlang.

a) $\frac{\partial v}{\partial z} \neq 0;$

b) $\frac{\partial v}{\partial z} = 0;$

c) $\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0;$

d) $\frac{\partial v}{\partial z} = 0; \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0;$

5. Suyuqlik oqimining siqiluvchan deb qaralgan holati uchun beqaror naporli harakatni izohlang.

- a) $\frac{\partial v}{\partial z} \neq 0$;
- b) $\frac{\partial v}{\partial z} = 0$;
- c) $\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0$;
- d) $\frac{\partial v}{\partial z} = 0$; $\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0$;

6. Suyuqlik oqimining tinch (sokin) va notinch (shovqinli) harakatlariga aniqlashtirilgan ta'rif bering.

- a) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab tarqalmaydi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat yuqoriga tarqaladi;
- b) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab yuqoriga va pastga tarqaladi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat pastga tarqaladi;
- c) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda oqim bo'ylab tezlikning tebranishi paydo bo'ladi. Shovqinli harakatda esa bu tebranish tez tarqaladi;
- d) Sokin harakatda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab pastga tarqaladi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab goh yuqoriga, goh pastga tarqaladi.

VII BOB. NASOSLAR

7.1. SUV XO‘JALIGIDA MASHINALI SUV KO‘TARISHNING AHAMIYATI

Respublikada aholi sonining tez sur‘atlar bilan o‘sishi natijasida yangi ekin maydonlarini o‘zlashtirish zaruriyati tug‘ildi. O‘zlashtiriladigan erlarning aksariyati suv manbalaridan yuqorida joylashgan. Ularni suv bilan ta‘minlash nasos stansiyalari va qurilmalar bilan amalga oshiriladi.

7.1-jadval

O‘zbekistonda Respublikasida ishlab turgan katta nasos stansiyalari.

№	Viloyatlar	Nasos stansiyalari	Xarakteristikalar		
			Q, m ³ /s	H, m	N, mVt
1.	Buxoro	Olot	41	8,5	5,6
		Qorako‘l	33	8,5	4,8
		Amu-Buxoro – I	68	52,0	45,0
		Quyimozor	100	18-21	30,0
		Amu-Buxoro – II	105	52,0	125,0
		Qiziltepa	92	45-72	125,0
		Konimex	12	26,0	6,0
2.	Qoraqalpogiston Respublikasi	Yomonjar	13	5,0	1,4
		Kattagar	54	4,0	4,5
		Bek – yab	50	5,0	4,5
		Nayman – Beshtom	30	5,0	1,6
3.	Qashqadaryo	Qarshi kaskadi (I, II, III, IV, V, va VI ko‘tarish stansiyalari)	195	140,0	450,0
		Tallimarjon	155	16-33	64,8
4.	Surxondaryo	Sherobod	110	24-29	45,0
		Amu – Zang	32	81,0	48,0
5.	Jizzax	Jizzax	190	24-37	110,0
6.	Andijon	Tashkelik	27	20,0	7,2
		Do‘stlik	9	83,0	9,6
		Ekin-Tekin	3	130,0	5,1
7.	Farg‘ona	Abdusamat	20	10,0	4,0
		Sharqiy Arsif	2	130,0	5,1
		KFK – Sox	2	160,0	5,0
		Isfayram-Shohimardon	3	170,0	7,5
8.	Namangan	Pungan	3	165,0	6,3
		Chust	5	197,0	15,0
		Uychi	10	78,0	12,8
9.	Sirdaryo	Boyovut	12	26,0	4,8
		Sirdaryo – 3	25	10,0	4,0
		Sirdaryo – 6	25	10,0	4,0
		Sardoba	13	5,0	1,4
10.	Samarqand	Narpay	12	50,0	96,0
11.	Xamdo‘stlik mamlakatlarida	Bosh – Koxovka	25-40	21-25	12,5
		Irtish – Karag‘anda	13-20	19-21	5,0
		Saratov	14-18	21-22	5,0

Hozirgi vaqtda respublikada 1687 dona ulkan, katta va o'rta sarfli nasos stansiyalari suv uzatib berayotgan viloyatlararo, tumanlararo va xo'jaliklararo mashina kanallaridan 53 % hamda ichki xo'jalik tarmoqlariga o'rnatilgan kichik sarfli nasos stansiyalari va qurilmalar yordamida yana 25 % fermer xo'jaliklarining er maydonlari sug'orilmoqda, 11000 donaga yaqin vertikal quduqlardagi nasos agregatlari ishlab turibdi. 7.1-jadvalda O'zbekiston Respublikasi viloyatlarida ishlab turgan ba'zi katta nasos stansiyalarining ro'yxati keltirilgan.

Sug'orish nasos stansiyalaridan tashqari ko'plab zax Qochirish – Quritish va Qishloq xo'jaligini ichimlik suvi bilan ta'minlash nasos stansiyalari ham ishlab turibdi.

Hozirgi vaqtda respublikamizda nasos agregatlari ishlab chiqaradigan "SUVMASH" zavodi, viloyatlarda nasoslarni ta'mirlash korxonalari ishlab turibdi. Ammo, ilgari ittifoq davrida buyurtma qilib tayyorlangan va katta nasos stansiyalariga o'rnatilgan nasos agregatlarini ishlab chiqarish hozircha yo'lga qo'yilmagan.

7.1.1. Nasoslar haqida tushuncha. nasoslar tasnifi

Nasoslar har xil suyuqliklar oqimini hosil qiluvchi gidravlik mashinalardir. Nasoslar o'zlariga berilayotgan mexanik yoki boshqa turdagi energiyani o'zi orqali oqib o'tadigan suyuqlikning gidravlik energiyasiga aylantirib beradi.

Nasoslarni harakatga keltirish uchun hozirgi vaqtda asosan elektr dvigatelidan foydalaniladi. Ba'zi hollarda ichki yonuv dvigatelidan ham foydalanishadi.

Harakat turi bo'yicha nasoslar **dinamik** va **hajmiy** nasoslarga bo'linadi .

Dinamik nasoslarda suyuqlik, nasosning kirish hamda chiqishlari bilan doimiy bog'langan ish kamerasidagi ish organining ta'sirida siljiydi.

Suyuqlikka ta'sir kuchi bo'yicha dinamik nasoslar – **kurakli** (markazdan qochma, diagonal, o'qiy) va ishqalanishli (vixrli, oqimli, suv - havo ko'targichlar, shnekli) nasoslarga bo'linadi.

Hajmiy nasoslarda suyuqlik, nasosning kirish va chiqishlariga navbati bilan ulanadigan ish kamerasidagi hajmni davriy (o'qtin – o'qtin) o'zgartirib turuvchi ish organining ta'sirida siljiydi.

Ishchi organlarining harakati bo'yicha hajmiy nasoslar **qaytma – ilgarilanma va aylanma** (rotorli) nasoslarga ajratiladi. ishchi qismlarning turi bo'yicha qaytma–ilgarilanma nasoslar porshenli, plunjerli diafragmali, pnevmatik nasoslarga, aylanma (rotorli) nasoslar esa shesternyali, vintli va shiberlilarga bo'linadi.

7.1.2. Nasos dvigateli, agregati, nasos qurilmasi, nasos stansiyasi va mashinali suv ko'tarish gidrotexnik uzeli tushunchasi

Sug'orish, zax qochirish va ichimlik suvi bilan ta'minlash sohalarida suvni yuqoriga uzatish kompleksi quyidagi pog'onalarga bo'linadi: ***nasos dvigateli; nasos agregati; nasos qurilmasi; nasos stansiyasi va mashinali suv ko'tarish gidrotexnik uzeli.***

Nasos dvigateli – mexanik, elektrik va boshqa turdagi energiyani suyuqlik oqimi energiyasiga aylantirib beruvchi gidravlik mashinadir.

Nasos agregati (gidroagregat) – quvvatni uzatish jihozlari bilan bog‘langan nasos va dvigatel’ yig‘indisidir.

Nasos qurilmasi – suyuqlikni manba’sidan olib iste’molchiga etkazib beruvchi qurilma yoki quvvatni uzatish jihozlari bilan bog‘langan nasos va dvigatel’, suruvchi va bosimli quvurlar, ularning kerak – yarog‘lari (armatura, berkitgich – zadviyka, teskari klapan va boshqalar) va o‘lchov asboblari (vakuumetr va manometr) yig‘indisidir.

Nasos stansiyasi – iste’molchilarga suv etkazib beruvchi, zax qochirish va kanalizasiya sistemalaridan suv haydab chiqaruvchi bir yoki bir necha qurilmalar va gidrotexnik inshootlar yig‘indisidir.

Mashinali suv chiqarish gidrotexnik uzeli–suv olish va uni nasos stansiyasi binosiga keltirishga mo‘ljallangan inshootlar, stansiya binosi, so‘rish va uzatish quvurlari va suvni qabo‘l qiluvchi inshootlar yig‘indisidir.

7.1.3. Nasoslarning qo‘llanish sohalari

Nasoslarni paydo bo‘lishi va rivojlanishi shuni ko‘rsatadiki, nasoslarga avvalo suvni yuqoriga ko‘tarib berish uchun mo‘ljallangan gidravlik mashina deb qaralgan. Ammo, hozirgi vaqtda, nasoslarni qo‘llanish sohalari juda ko‘p va xilma-xildir. Shaharlarni ichimlik suvi bilan ta‘minlash va ulardagi iflos suvlarni chiqarib tashlash, sanoat korxonalari hamda elektrostansiyalarni texnik suv bilan ta‘minlashdan tashqari, ularni sug‘orish va zax qochirish, energiyani yuqoriga to‘plash hamda materiallarni tashishda qo‘llaniladi. Issiqlik elektrostansiyalarining qozon qurilmasini suv bilan ta‘minlash nasoslari, kemalardagi nasoslar, neft–gaz, ximiya, Qog‘oz ishlab chiqarish, oziq – ovqat va ishlab chiqarishning boshqa sohalarida qo‘llaniladigan nasoslar shular jumlasidandir. Yana nasoslar, qurilish ishlarida (tuproqli inshootlarni qurishda, kanallarni loyqalardan tozalashda, suv sathini tushirishda, suvni chiqarib tashlashda, beton va qurilish qorishmalarini uzatishda va boshqalarda) , foydali qazilmalarni olishda, ularga gidravlik usulda ishlov berishda, ishlab chiqarish korxonalari chiqindilarini gidravlik yuvishda, chorvachilik fermalarida, shaharlarni ko‘kalamzorlashtirishda qo‘llaniladi. Yordamchi qurilmalar sifatida nasoslar, yog‘lash moylarini uzatish va mashinalarni sovutishda ham ishlatiladi.

7.1.4. Nasoslarning energetik ko‘rsatkichlari

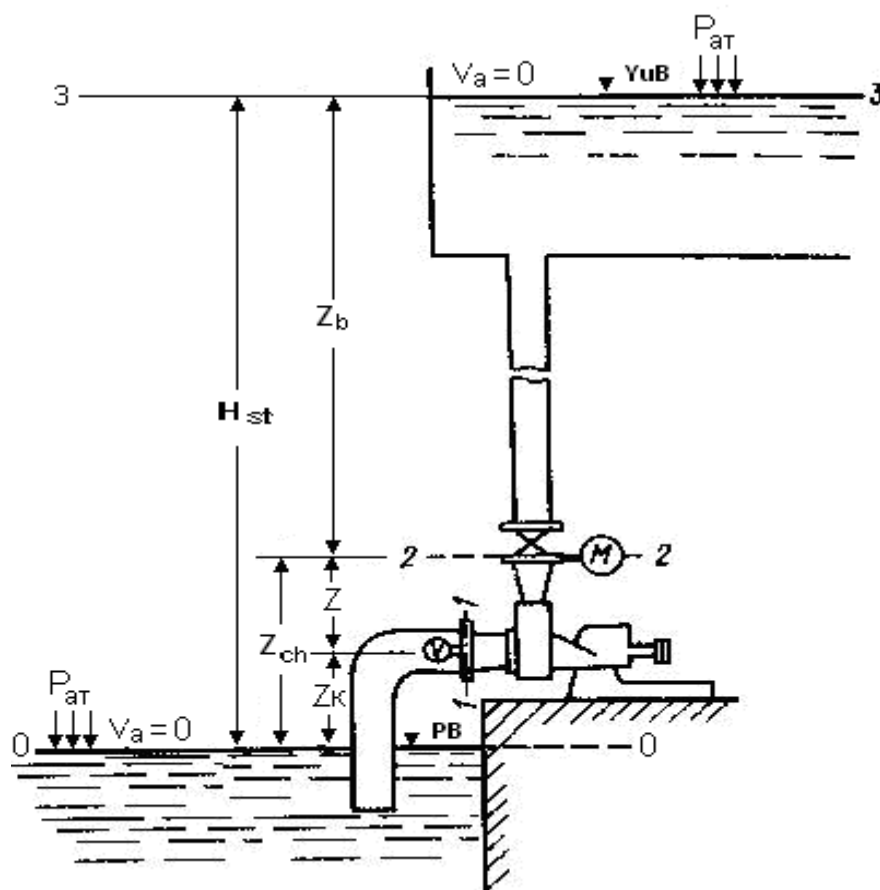
Nasos stansiyasi ish rejimi diapazonini o‘zgarib turishini, uning jihozlari va konstruktiv xususiyatlarini aniqlovchi ko‘rsatkichlarga nasoslarning asosiy ko‘rsatkichlari deyiladi. **Bosim, sarf, quvvat va foydali ish koeffitsienti (FIK)** nasoslarning asosiy ko‘rsatkichlaridir.

1.Bosim (H) – nasosning kirish va chiqish oralig‘ida suyuqlik solishtirma energiyasining o‘zgarishidir. O‘lchov birligi – *m. (metr)* .

$$P=E_{ch} +E_{\kappa} \quad (7.1)$$

$$E_{ch}=Z_{ch}^{2-2} + \frac{P_{ch}}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2}{2g} \quad (7.2)$$

$$E_{\kappa}=Z_{\kappa}^{1-1} + \frac{P_{\kappa}}{\gamma} + \frac{V_{\kappa}^2}{2g} \quad (7.3)$$



7.1-rasm. Nasos qurilmasining sxemasi.

(7.2) va (7.3) ni (7.1) ga qo‘ysak,

$$H = Z_{ch}^{2-2} + \frac{P_{ch}}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2}{2g} - \left(Z_{\kappa}^{1-1} + \frac{P_{\kappa}}{\gamma} + \frac{V_{\kappa}^2}{2g} \right) =$$

$$Z_{ch}^{2-2} - Z_{\kappa}^{1-1} + \frac{P_{ch} - P_{\kappa}}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2 - V_{\kappa}^2}{2g} = \left| Z_{ch}^{2-2} - Z_{\kappa}^{1-1} + \frac{P_{ch} - P_{\kappa}}{\gamma} = H_{man} \right|$$

$$H = H_{man} + \frac{V_{ch}^2 - V_{\kappa}^2}{2g} \quad (7.4)$$

Shunday qilib, bosim, manometrik bosim bilan nasosga kirishdagi va chiqishdagi tezlik hosil qilgan bosimlar ayirmasining yig‘indisiga teng ekan.

So‘rish va bosimli patrulkalarning o‘lchamlari birday bo‘lganda ulardagi tezlik bir xildir ($V_{ch} = V_{\kappa}$) va bosim manometrik bosimga teng bo‘ladi.

$$H = H_{man}. \quad (7.5)$$

bu erda shartli belgilar:

E_{κ}, E_{ch} – suyuqlikni nasosga kirishdagi va chiqishdagi solishtirma energiyasi;

$Z_{\kappa}^{1-1}, Z_{ch}^{2-2}$ – nasosga kirishdagi 1-1 va chiqishdagi 2-2 kesimlar og‘irlik markazining balandligi, m;

P_{κ}, P_{ch} – nasosga kirishdagi va chiqishdagi bosim, kg/m²;

γ – suyuqlikning solishtirma og‘irligi, kg/m³;

V_{κ}, V_{ch} – suyuqlikning nasosga kirishdagi va chiqishdagi tezligi, m/s;

g – erkin tushish tezligi, m/s²;

$\frac{V_{\kappa}^2}{2g}, \frac{V_{ch}^2}{2g}$ – nasosga kirishda va chiqishda tezlik hosil qilgan bosim;

$\frac{P_{\kappa}}{\gamma}, \frac{P_{ch}}{\gamma}$ – nasosga kirish va chiqishdagi p'ezometrik balandlik.

2. Suyuqlik sarfi (Q) – birlik vaqt ichida nasosdan o'tayotgan suyuqlik hajmiga teng. O'lchov birliklari – l/s, m³/s, m³/soat,

$$Q = \omega \cdot V; \quad (7.6)$$

bunda: Q – suyuqlik sarfi, m³/s;
 ω – jonli kesim yuzi, m²;
V – oqimning o'rtacha tezligi, m/s.

3. Quvvat (N) . Nasos bilan 1 sek ma'lum balandlikka ko'tarilgan m massali suyuqlikning bajargan ishiga nasosning foydali ishi deyiladi.

$$A = m \cdot gH \quad (7.7)$$

bunda: m – suyuqlik massasi;
G – suyuqlikni og'irligi kg.

Bosimli patrubkadan o'tayotgan suyuqlikka nasosdan berilayotgan quvvat, yoki birlik vaqt ichida suyuqlik bajargan ishga nasosning foydali quvvati deyiladi. Uni quyidagi formula bilan aniqlaymiz.

$$N_f = \gamma QH \quad (7.8)$$

O'lchov birliklari ot kuchi va kilovattidir.

1 ot kuchi = 75 kg m/s

1 kVt = 102 kg m/s

Nasosni harakatga keltirish uchun dvigatel sarf qilgan energiyaga nasosning valdagi quvvati yoki nasosning iste'mol quvvati deyiladi, ya'ni

$$N_{ist} = \frac{\gamma QH}{\eta} \quad (7.9)$$

Nasos harakatga kelganda ishqalanishlar natijasida nasosning foydali quvvati kamayadi. Shuning uchun nasosning iste'mol quvvati, uning foydali quvvatidan katta bo'lishi kerak. Yo'qolgan quvvat nasosning foydali ish koeffitsientini aniqlashda hisobga olinadi.

4. Foydali ish koeffitsienti (η) .

Nasos foydali quvvatining uni iste'mol quvvatiga nisbati nasosning foydali ish koeffitsienti deyiladi, ya'ni

$$\eta = \frac{N_f}{N_{ist}} 100\% \quad (7.10)$$

O'lchov birligi, foizda yoki birdan kichik sonlar bilan aniqlanadi. Zamonaviy yirik nasoslarda to'la fiki 0,9 ga etadi, kichiklarida esa 0,6 dan oshmaydi.

5. Aylanishlar soni (n) – nasos vali yoki ish g'ildiragining 1 minutda aylanish (ayl/min) tezligidir.

$$n = \frac{60U}{\pi D} \quad (7.11)$$

6. So'rish balandligi ($h_{so'r}$) – umumiy ko'tarish balandligining so'rish qismidir. (metr) .

$$h_{so'r} = h_b - \Sigma \Delta h_{so'r} - \Delta h_{bug'.bos.} - \Delta h_{kav.eht.} \quad (7.12)$$

7.1.5. Nasosning to'la bosimini aniqlash

1 – xol. Ishlab turgan nasos qurilmasining to'la bosimini o'lchov asboblari ko'rsatishlari orqali aniqlash.

Nasosning to'la bosimi (7.2) va (7.3) ga asosan (7.2-rasm) .

$$\begin{aligned}
 H &= Z_{ch} - Z_k + \frac{P_{ch} - P_k}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g} = \left| \frac{P_{ch} = P_2 + P_{atm}}{P_k = P_{atm} - P_v} \right|, Z = Z_{ch} - Z_k = Z + \frac{P_m + P_{atm} - (P_{atm} - P_v)}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g} \\
 &= Z + \frac{P_m + P_{atm} - P_{atm} + P_v}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g} = Z + \frac{P_m + P_v}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g} = \left| \frac{P_m}{\gamma} = M; \frac{P_v}{\gamma} = V \right| = Z + M + V + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g}; \\
 H &= Z + M + V + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g} \quad (7.13)
 \end{aligned}$$

Shunday qilib, nasosning to'la bosimi manometr (m) va vakuumetr (v) ko'rsatishlari yig'indisiga, bosimlarni o'lchash nuqtalari orasidagi masofaga (z) va nasosga kirishda va chiqishda tezlik hosil qiladigan bosimlar farqining qushilganiga teng.

Agar nasosning kirish va bosimli patrulkalarining diametrlari birday bo'lsa, unda ulardagi tezlik ham birdaydir va to'la bosim,

$$H = M + V + Z \quad (7.14)$$

(7.4) , (7.13) va (7.14) tengliklar bilan faqat ishlab turgan nasos qurilmasining bosimi aniqlanadi. Loyixa qilinayotigan nasos qurilmasi uchun bu tengliklar yaroqsizdir.

2 – xol. Loyixalanayotgan nasos qurilmasining to'la bosimini aniqlash.

Buning uchun Bernulli tenglamasidan foydalanamiz.

7.1 – rasmdagi 0-0 va 1-1 kesmlari uchun 0-0 tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasi.

$$O + \frac{P_{atm}}{\gamma} + O = Z_k + \frac{P_k}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2}{2g} + \Delta h_{sur}; \quad (7.15)$$

2-2 va 3-3 kesmlari uchun 0-0 tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasi.

$$Z_{ch} + \frac{P_{ch}}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2}{2g} = Z_{ch} + Z_{bos} + \frac{P_{atm}}{\gamma} + O + \Delta h_{bos}; \quad (7.16)$$

(7.15) ni (7.16) ga tenglashtiramiz.

$$\begin{aligned}
 \frac{P_u}{\gamma} + \frac{V_u^2}{2g} &= Z_k + \frac{P_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} + \Delta h_{cyp} + Z_{\delta oc} + \Delta h_{\delta oc} \\
 \frac{P_{ch}}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2}{2g} &= Z_k + \frac{P_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} + Z_{bos} + \Delta h_{sur} + \Delta h_{bos}; \\
 \Sigma \Delta h &= \Delta h_{sur} = \Delta h_{bos} \quad (7.17)
 \end{aligned}$$

$$\frac{P_{ch} - P_k}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g} = Z_k + Z_{bos} + \Sigma \Delta h$$

$$\frac{P_{ch} - P_k}{\gamma} + \frac{V_{ch}^2 - V_k^2}{2g} = H - Z, \text{ bu erda: } Z = Z_{ch} - Z_k$$

$$H = Z_K + Z + Z_{bos} + \Sigma \Delta h, \text{ bu erda: } Z_K + Z + Z_{bos} = H_{geom}$$

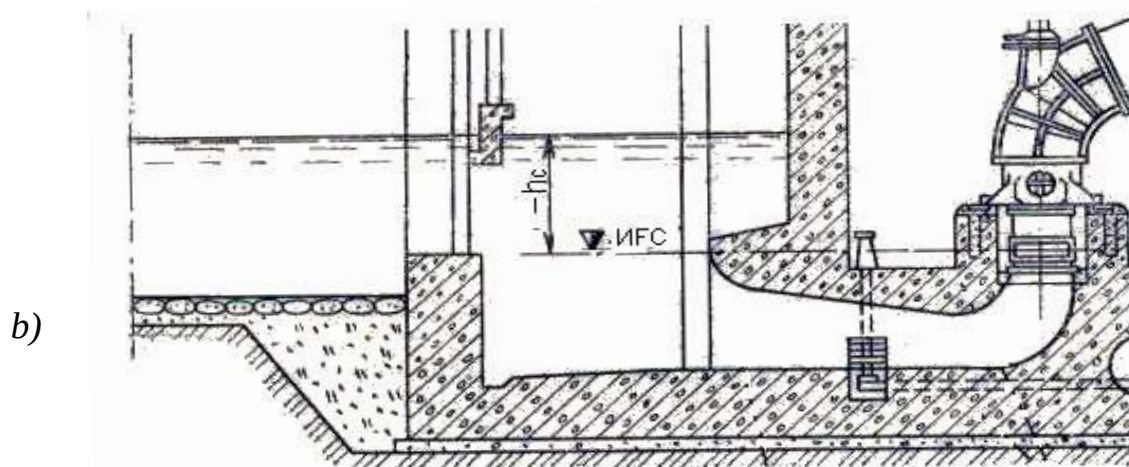
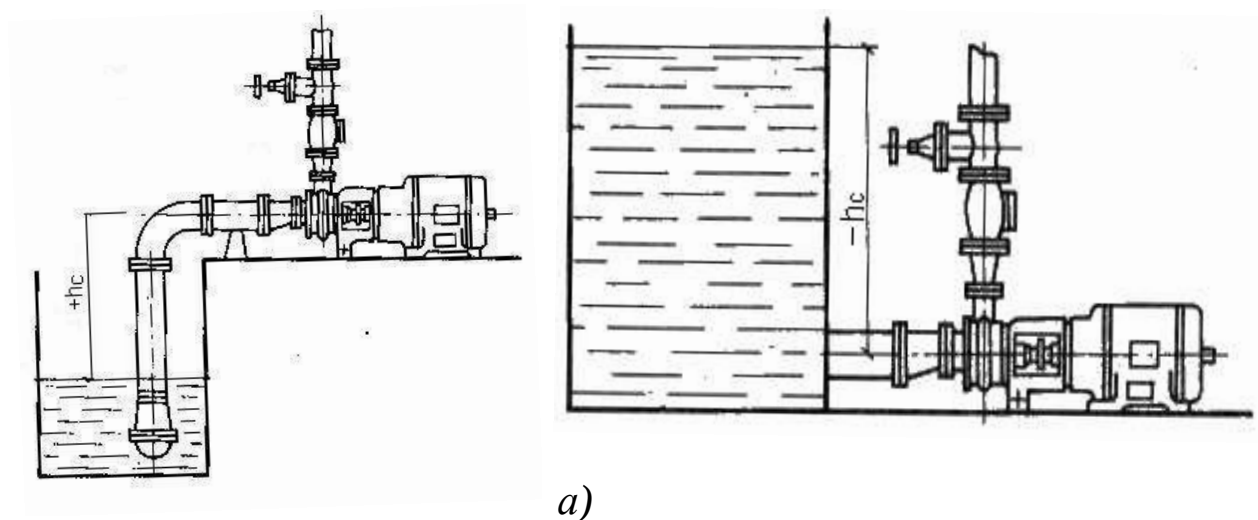
$$H = H_{geom} + \Sigma \Delta h \quad (7.18)$$

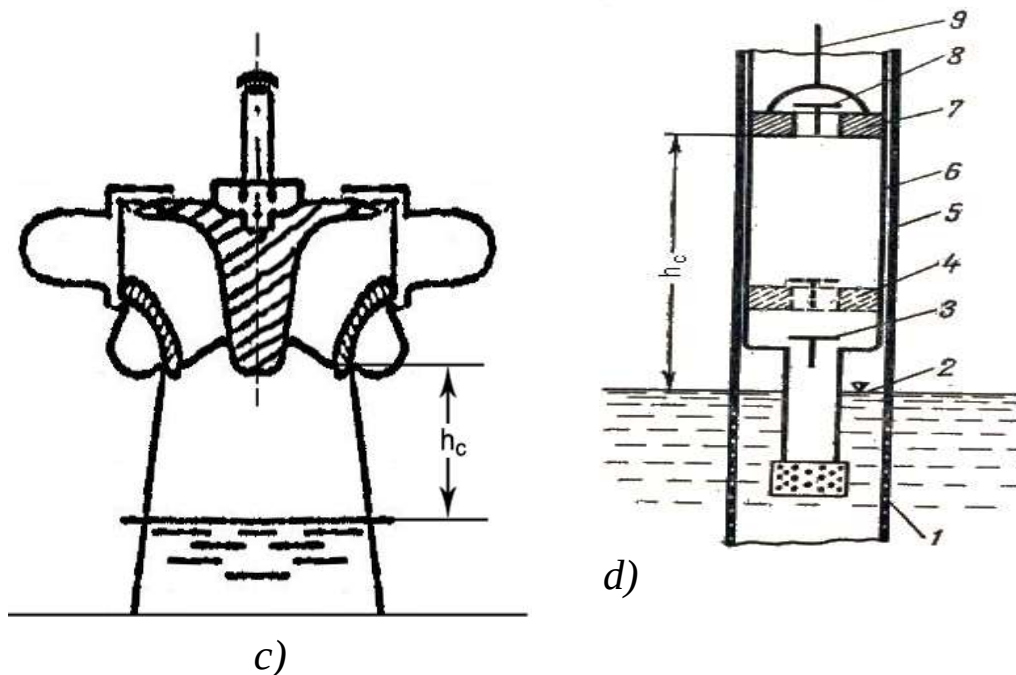
Shunday qilib loyixalanayotgan nasos qurilmasining to'la bosimi suv ko'tarish geometrik balandligi (H_{geom}) bilan so'rish ($\Delta h_{so'r}$) va bosim (Δh_{bos}) quvurlaridagi yo'qotilgan bosim yig'indisiga teng.

7.1.6. Geometrik, keltirilgan va vakuumetrik so'rish balandligi

Geometrik so'rish balandligi – manbadagi suv sathidan ish g'ildiragining markazigacha, ya'ni gorizontall nasoslarda ularning o'qigacha (a) , tik o'qiy nasoslarda buriladigan qanotlarining o'qigacha (b) , markazdan qochma tik nasoslarda bosimli patrubkasi o'qigacha (c) , tik porshenli nasoslarda, porshenning yuqori vaziyatigacha (d) bo'lgan masofaga teng.

Nasos qurilmasining so'rish balandligi musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin. agar manbadagi suv sathi ish g'ildiraklari markazidan pastda joylashgan bo'lsa, so'rish balandligi musbat (7.2 a, c, d-rasm) , yuqorida joylashgan bo'lsa manfiy (7.2 a, b-rasm) bo'ladi.





7.2-rasm. Nasoslarning geometrik so‘rish balandligi.
a-gorizontaal; b-tik o‘qiy; c-markazdan qochma tik; d-porshenli.

Keltirilgan so‘rish balandligi – deb, geometrik so‘rish balandligi va so‘rish trubasida gidravlik qarshiliklar natijasida yo‘qotilgan so‘rish balandligi yig‘indisiga aytiladi.

$$H_{sur}^{kel} = h_{sur}^{geom} + \sum \Delta h_{sur} \quad (7.19)$$

bunda: $h_{so'r}$ – so‘rishning geometrik balandligi (m) ;

$\sum \Delta h_{so'r}$ – yo‘qotilgan so‘rish balandligi (m) .

Vakuummetrik so‘rish balandligini aniqlash uchun 0-0 va 1-1 kesimlariga 0-0 tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasini tuzamiz (rasm 7.3) .

$$0 + \frac{P_a}{\gamma} + 0 = h_{sur} + \frac{P_{vak}}{\gamma} + \frac{V_{\kappa}^2}{2g} + \Delta h_{sur};$$

$$\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{vak}}{\gamma} = h_{sur} + \Delta h_{sur} + \frac{V_{\kappa}^2}{2g};$$

$$\frac{P_a - P_{vak}}{\gamma} = H_{vak} \quad (7.20)$$

$$H_{vak} = h_{sur} + \Delta h_{sur} + \frac{V_{\kappa}^2}{2g} \quad (7.21)$$

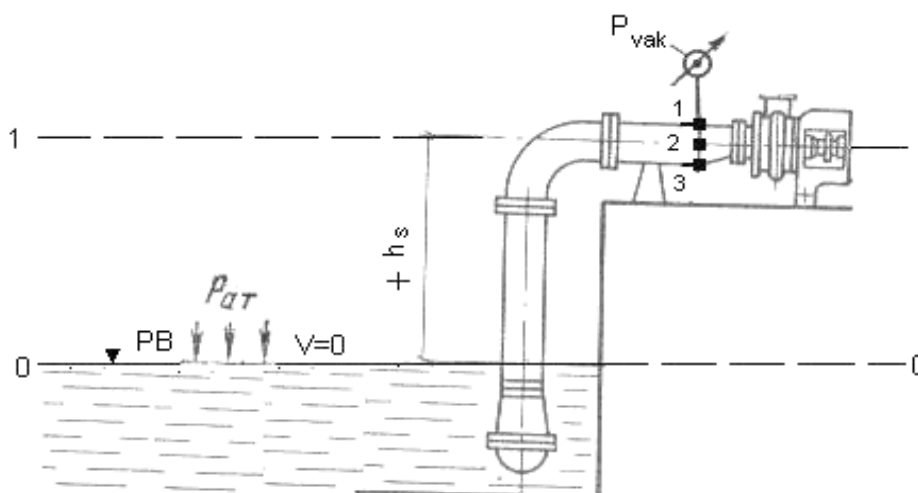
yoki

$$H_{kel} = H_{sur}^{kel} + \frac{V_{\kappa}^2}{2g} \quad (7.22)$$

Shunday qilib, vakuummetrik so‘rish balandligi, geometrik so‘rish balandligi, so‘rish trubasida yo‘qotilgan so‘rish balandligi va nasosga kirishda tezlik hosil qilgan bosim yig‘indisiga teng.

Vakuummetrik so‘rish balandligi, vakuummetr asbobi bilan o‘lchanadi. Vakuummetr atmosfera bosimidan kichik bo‘lgan bosimni o‘lchaydi.

Vakuummerni ish g'ildiragining o'qi to'g'risidagi, so'rish quvurining yuqori va quyi qismidagi nuqtalarga o'rnatish mumkin (rasm 7.3) .



7.3-rasm. Vakuummerni o'rnatish sxemasi.

1, 2, 3 – vakuummerni o'rnatish nuqtalari.

Agar vakuummerni ish g'ildiragining o'qi tug'risidagi nuqtaga o'rnatilgan bo'lsa, u holda vakuummernik so'rish balandligi.

$$H_{vak} = h_{sur} + \Delta h_{sur} + \frac{V^2}{2g} \quad (7.23)$$

Agar so'rish quvurining yuqori va quyi qismiga o'rnatilsa,

$$H_{vak} = h_{sur} + \Delta h_{sur} + \frac{V^2}{2g} \pm y \quad (7.24)$$

Har bir nasos uchun vakuummernik so'rish balandligi turlicha bo'ladi. nasosning geometrik so'rish balandligi aniqlashda vakuummernik so'rish balandligi, nasosning pasportidan yoki nasoslar katalogidan olinadi.

Vakuummernik so'rish balandligi zavodlarda tajriba yo'li bilan aniqlanadi, va $P_{atm} = 10$ m, suyuqlik temperaturasi 4°C (20°C) bo'lgandagi qiymatlari kataloglarda ketiriladi. Agar nasoslar boshqa sharoitda ishlasa unda **mumkin bo'lgan so'rish balandligi** quyidagicha aniqlanadi.

$$H_{vak}^{m.b.} = H_{vak}^{kat} + (h_{bar} - 10) - (h_{sur} - h_{sur}^{t=20^{\circ}\text{C}}) \quad (7.25)$$

$$H_{vak}^{m.b.} = H_a - \sum \Delta h_{sur} - \Delta h_{kav} - \Delta h_{b.b}$$

$$H_a = 10,33 - \frac{\nabla PB}{900}$$

7.2-jadval.

Suv temperaturasi $t = 20^{\circ}\text{C}$ bo'lgandagi barometrik bosimning qiymatlari.

Nasos o'rnatilgan joyning (dengiz sathidan) balandligi (m) .	0	100	200	300	400	600	800	2000
Barometrik bosim ($h_b = R_o/\gamma$ -xaqiqiy atmosfera bosimi (m))	10,3	10,2	10,1	10,0	9,8	9,6	9,4	8,4

Kavitatsiya hodisasi yuz bermasligi uchun vakuummernik so'rish balandligi mumkin bo'lgan so'rish balandligidan katta bo'lmasligi kerak.

$$H_{vak} = h_{sur} + \Delta h_{sur} + \frac{V_{\kappa}^2}{2g} \leq H_{vak}^{m.b.} \quad (7.26)$$

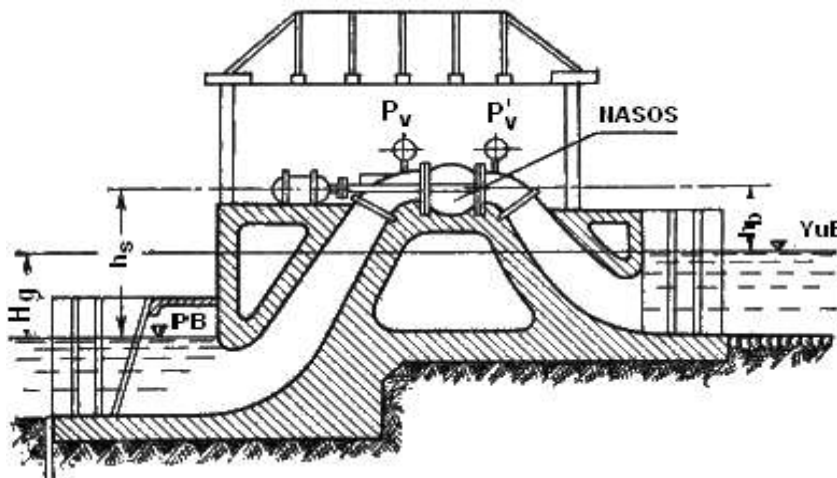
Nasos stansiyalari qurilishi amaliyotida, so'rish balandligi 3 m dan ko'p bo'lmashligi tavsiya qilinadi.

7.1.7. Nasosning haydash balandligi.

Yuqori b'efdagi suv sathidan nasoslar ishchi g'ildiragining o'qigacha bo'lgan masofaga **geometrik haydash balandligi** deyiladi.

Haydash balandligi ham xuddi so'rish balandligi kabi musbat va manfiy qiymatli bo'lishi mumkin.

Agar nasoslar ish g'ildiragining o'qlari yuqori b'ef suv sathidan pastda joylashgan bo'lsa, haydash balandligi musbat, yuqorida joylashgan bo'lsa manfiy bo'ladi.



7.4-rasm. Sifon tipidagi nasos qurilmasi.

Sifon tipidagi nasos qurilmalarida suvning haydash balandligi manfiy bo'lishi mumkin (7.4-rasm).

Nasos qurilmalarining deyarli ko'pchiligida haydash balandligi musbat bo'ladi.

7.1.8. Keltirilgan haydash balandligi.

Geomtrik haydash balandligi va bosimli quvurda gidravlik qarshiliklar natijasida yo'qotilgan haydash balandliklari yig'indisiga **keltirilgan haydash balandligi** deyiladi.

$$H_x^{kel} = h_x + \Delta h_x \quad (7.27)$$

Pastgi b'ef suv sathidan yuqori b'ef suv sathigacha bo'lgan masofaga **suv ko'tarib berishning geometrik balandligi** deyiladi.

$$H_{geom} = \nabla Yu.B. - \nabla P.B \quad (7.28)$$

yoki

$$H_{geom.} = h_{sur} + h_x \quad (7.29)$$

7.1.9. Nasoslarni markalash – tamg‘alash

Nasoslarning xillari, kirish patrubkalarining o‘lchamlari, bosimi, suv sarfi va boshqa ko‘rsatkichlarini qisqacha belgilash, nasoslarni tamg‘alash – shartli qisqacha nomlashdir.

2K – 6	2 – kirish patrubkasining 25 marta kamaytirilgan diametri, mm; K – konsolli; 6–10 marta kamaytirilgan tez yurish koefitsienti.
2K – 20/30	2 – kirish patrubkasining 25 marta kamaytirilgan diametri, mm; K – konsolli; 20 – nasosning suv sarfi, $m^3/soat$; 30 – nasosning bosimi, m .
6KM–45/30	6 – kirish patrubkasining 25 marta kamaytirilgan diametri; K – konsolli; M – monoblokli (ish g‘ildiragi elektrodvigatel’ valiga o‘rnatilgan); 45 – nasosning suv sarfi, $m^3/soat$; 30 – nasosning bosimi, m .
32B - 12	32 – kirish patrubkasining 25 marta kamaytirilgan diametri, mm; B – vertikal; 12 – 10 marta kamaytirilgan tez yurish koefitsienti.
10 Д – 6	10 – kirish patrubkasining 25 marta kamaytirilgan diametri, mm; Д – (двусторонний) ikki tomonlama; 6 – 10 marta kamaytirilgan tez yurish koefitsienti.
24 НДн	24 – kirish patrubkasi diametrining 25 marta kamaytirilgani, mm; Н – насос; Д – (двусторонний) ikki tomonlama; н – (низконапорный) past bosimli.
18 НДс	18 – kirish patrubkasi diametrining 25 marta kamaytirilgani, mm; Н – насос; Д – (двусторонний) ikki tomonlama; с – (средненапорный) o‘rta bosimli.
5 НДв	5 – kirish patrubkasi diametrining 25 marta kamaytirilgani, mm; Н – насос; Д – (двусторонний) ikki tomonlama; в – (высоконапорный) yuqori bosimli.
Д12500-24	Д – (двусторонний) ikki tomonlama; 12500 – nasosning suv sarfi $m^3/soat$; 24 – nasosning bosimi, m .
О 5 – 55	О – (осевой) o‘qiy; 5 – ish g‘ildiragi namunasining tartib soni; 55 – ish g‘ildiragining diametri, sm .

ОГ 6 – 25	О – (осевой) – o‘qiy; Г – gorizontal xolatda o‘rnatiladigan; 6 – ish g‘ildiragi namunasining tartib soni; 25 – ish g‘ildiragining diametri, <i>sm</i> .
ОПВ2–145	ОПВ – (осевой с поворотными лопастями) – parraklari buriladigan o‘qiy nasos; 2 ish g‘ildiragi namunasining tartib soni; 145 – ish g‘ildiragi diametri, <i>sm</i> .
К80-50-200	К – konsolli, 80–kirish quvurining diametri, <i>mm</i> . 50– chiqish quvurining diametri, <i>mm</i> . 200–ish g‘ildiragi diametri, <i>mm</i> .
ЭПВ12-255-30	Э – elektronasos; Ц – (центробежный) markazdan qochma; В – (водяной) suvga mo‘ljallangan; 12 – quduqning 25 marta kichraytirilgan diametri (<i>mm</i>) ; 255 – nasosning suv sarfi, <i>m³/soat</i> ; 30 – nasosning bosimi, <i>m</i> .
А50ГО–0.5/10	А –agregat; 50 – ish g‘ildiragi diametri, <i>sm</i> ; ГО – (горизонтально-осевой) gorizontal-o‘qiy; 0,5 – nasosning suv sarfi, <i>m³/s</i> ; 10 – nasosning bosimi, <i>m</i> .
А40ГЦ–0.55/21	А – agregat; 40 –ish g‘ildiragi diametri, <i>sm</i> ; ГЦ – (горизонтально-центробежный) gorizontal-markazdan qochma; 0,55 – nasosning suv sarfi, <i>m³/s</i> ; 21 – nasosning bosimi, <i>m</i> .
СНП500/10	С – stansiya; Н – nasos; П – (передвижной) ko‘chma; 500 – nasosning suv sarfi, <i>l/s</i> ; 10 – nasosning bosimi, <i>m</i> .
ЦНС 38-110	Ц – (центробежный) markazdan qochma; Н – nasos; С – seksiyali; 38 – nasosning suv sarfi, <i>m³/soat</i> ; 110 – nasosning bosimi, <i>m</i> .
ЦТВ10-100-80	Ц – (центробежный) markazdan qochma; Т –transmission valli; В – (водяной) suvga mo‘ljallangan; 10 – quduqning 25 marta kichraytirilgan diametri, <i>mm</i> ; 100 – nasosning suv sarfi, <i>m³/soat</i> ; 80 – nasosning bosimi, <i>m</i> .
АТН8-1-22	А – artezianli; Т– transmission valli; Н – nasos; 8 – quduqning 25 marta kichraytirilgan diametri, <i>mm</i> ; 1 –ish g‘ildiragining turi (yopiq turdagi) ; 22 –ish g‘ildiraklari soni.

7.2. PARRAKLI NASOSLAR.

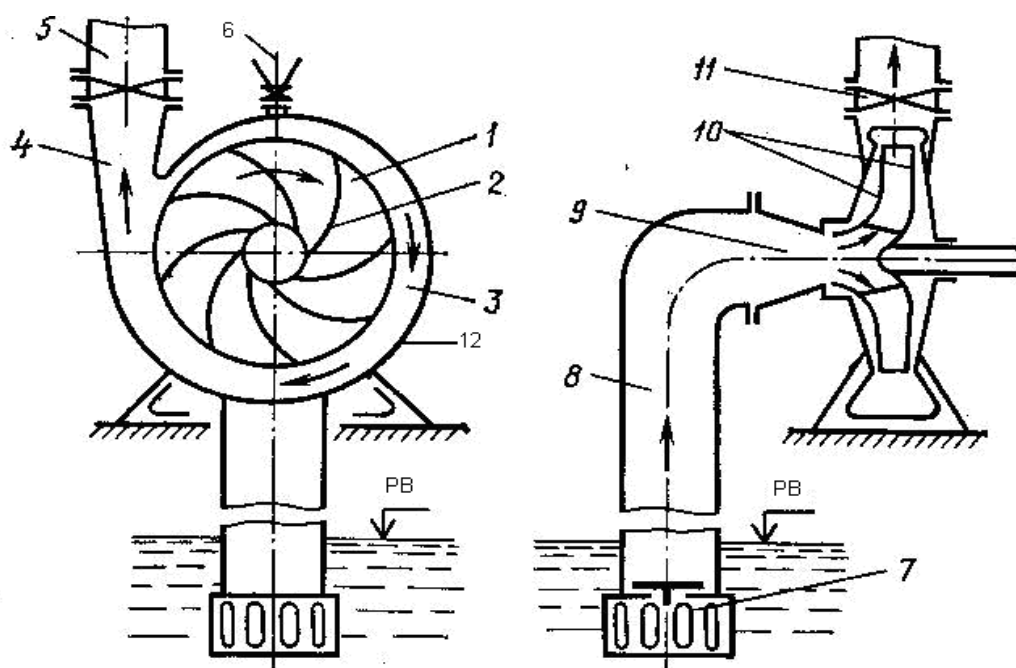
7.2.1. Parrakli nasoslar konstruksiyasi.

Parrakli nasoslar klassifikatsiyasi.

Parrakli nasos, dvigateldan olayotgan energiyani ish g'ildiragi parraklari orqali siljiyotgan suyuqlikka beradi. Parrakli nasoslar: markazdan qochma, o'qiy va diagonallarga bo'linadi.

Markazdan qochma nasoslar.

Markazdan qochma nasoslarda suyuqlik, ish g'ildiragi aylanishidan vujudga keladigan markazdan qochma kuchlar hisobiga uzatiladi. So'rish quvuridan ish g'ildiragi markaziga uzatilgan suyuqlik, ish g'ildiragi parraklari orqali olib ketiladi. Olib ketilgan suyuqlik markazdan qochma kuch ta'sirida parraklar orqali olib kelish kanaliga tushadi. bunda tezlik kamayishi hisobiga bosim ortadi va suyuqlik bosim quvuriga o'tadi. Markazdan qochma nasoslarning sxemasi va asosiy qismlari 7.5-rasmda ko'rsatilgan.



7.5-rasm. Markazdan qochma nasosning sxemasi va asosiy qismlari.

1 – ish g'ildiragi; 2 – parraklar; 3 – spiralsimon olib ketish kanali; 4 – konussimon diffuzor; 5 – bosimli quvur; 6 – suv quyiladigan yoki vakuum nasos ulanadigan joy; 7 – suyuqlik qabo'l qiluvchi sim to'rli teskari klapan; 8 – so'rish quvuri; 9 – so'rish patrulkasi; 10 – ish g'ildiragining diski; 11 – zadviyka; 12 – chig'anok (ulitka).

Markazdan qochma nasoslar klassifikatsiyasi esa 2-sxemada keltirilgan.

Markazdan qochma nasoslar odatda manbadagi suyuqlik sathidan yuqoriga o'rnatiladi. Shu sababli nasoslar ishga tushirilishidan oldin suyuqlik bilan to'ldirilishi kerak. So'rish quvuri teskari klapan bilan jihozlangan nasoslarning, so'rish quvuri va ish g'ildiragi joylashgan korpusi, qo'ldagi yoki maxsus idishlardagi suyuqlik yordamida, agar teskari klapan bo'lmasa, maxsus vakuum yoki oqimli nasoslar yordamida vakuum hosil qilish yo'li bilan suyuqlikka to'ldiriladi.

Markazdan qochma nasoslar keng tarqalgan suv uzatish mashinalaridir. Ular maxsus muftalar yoki to'g'ridan-to'g'ri elektrodvigatel' valiga ulanib harakatga keltiriladi. Shuning uchun, ular foydali ish koeffisient (F.I.K) - ining yuqoriligi, ixchamligi va ishonchli ishlashi bilan harakterlidir.

Markazdan kochma nasoslarning yig'ma grafigi, turlari, texnik va ishchi xarakteristikalari - ilovada, tamg'aga oid belgilari esa birinchi bo'limda keltirilgan.

Quyida markazdan qochma nasos turlari bilan tanishamiz.

7.2.2. Konsolli markazdan qochma nasoslar.

Konsolli (K) nasoslar asosan, korpus-2, korpus qopqog'i-6, ish g'ildiragi-3, val-7 va tayanch to'sinidan -8 iborat (rasm 7.6) . Bir tomonlama suyuqlik kiruvchi ish g'ildiragi, valga gayka va shponka yordamida mahkamlanadi. Nasosning suv keltirish kanali, suyuqlikni ish g'ildiragiga o'q bo'ylab kirishini ta'minlovchi to'g'ri o'qli konfuzor ko'rinishiga ega bo'ladi. Ishchi g'ildiragidan chiqqan suv, korpusdagi spiralsimon kanal - chig'anoq bo'yicha olib ketiladi. Bosim patrubkasidan bosim quvuriga chiqish, suv keltirish o'qiga nisbatan 90^0 burchak ostida joylashgan. Spiralsimon korpusning shpilkalar bilan tayanch ustuniga mahkamlanishiga qarab, bu burchakni 90^0 , 180^0 va 270^0 ga o'zgartirish mumkin. Tayanch ustuniga quvur va ikkita qopqoq yordamida podshipniklar – 9, 10 mahkamlangan bo'lib, ular g'ildirak aylanganda uning o'qqa nisbatan holatini qayd qilib, g'ildirakni korpus devoriga tegishdan saqlaydi. Podshipniklar suyuq moy bilan moylanadi. Moylash vannasidagi moy sathi, moy ko'rsatkich yordamida nazorat qilinadi. P_2 va P_1 bosimlar farqi ta'sirida, olib ketish kanalidan ish g'ildiragiga kirish tirqishidan (oldingi disk bilan korpus devori orasidagi bo'shliq orqali) , suyuqlikni teskari siriqib oqishini kamaytirish uchun, nasosning ish g'ildiragiga kirish oldiga oddiy konstruksiyali xalqasimon zichlama –13 o'rnatiladi.

Ishchi g'ildirakni o'qiy bosimdan saqlash uchun, keyingi diskning –11 tashqi tomonidan xalqasimon zichlama o'rnatilgan va g'ildirak vtulkasining ichi teshib qo'yilgan. Ishchi g'ildirakdagi teshik –12 bo'lmasa, kichik nasoslarda qo'shimcha zichlama qo'yilmaydi. O'qiy bosimni podshipniklar qabo'l qiladi. Korpus bilan val o'rtasidagi oraliqni zich berkitish uchun, sal'nikli zichlama o'raladi. Sal'nikli zichlama, sal'nik korpusi –4 va qopqog'i –6 hamda ip – gazlama tiqindan –5 iborat.

Ishchi g'ildirakda bo'shatish teshiklari bo'lganida, sal'nik oldidagi ish kamerasidagi bosim, so'rish tomonidagi bosimga- P_1 yaqin qiymatga pasayadi. Bunda, sal'nik orqali havo so'rilishining oldini olish uchun, uning tasmasi o'tasiga gidravlik zichlama xalqasi joylashtiriladi. Suv, korpusning bosimli qismidan, korpus devoridagi kanal bo'yicha yoki alohida quvur orqali keltiriladi.

Konsolli markazdan qochma nasoslar shahar, sanoat, qishloq xo'jaligini suv bilan ta'minlashda qurilishda, kommunal, dexqon- fermer va tamorqa – bog'dorchilik xo'jaliklarida, shuningdek, tog'–kon, metallurgiya va boshqa soxalarda ishlatiladi. Konsolli turdagi, yotiq taglikka o'rnatilgan bir bosqichli, oqish qismidagi asosiy qismlari cho'yandan tayyorlangan elektronasos agregatlaridan, toza ichimlik suv va texnik suvni shuningdek, portlash va yong'in chiqish xavfi bo'lmagan, yopishqoqligi hamda kimyoviy xususiyatlari bilan suvga yaqin, tarkibida hajmi 0,1 foizdan, o'lchamlari 0,2 mm dan katta bo'lmagan qattiq aralashmali boshqa suyuqliklarni haydab berish uchun foydalaniladi. Bu nasoslar

Мой сатхи

1-korpus qorqog'i; 2-korpus; 3-ish g'ildiragi; 4-sal'nik korpusi; 5-ip-gazlama tiqin; 6-sal'nik qorqog'iichlama. ; 7-val; 8-tayanch to'sini; 9,10-podshipnklar; 11-orqa disk; 12-tirqish; 13- zichlama.

Hozirgi kunda Respublikamizning “SUVMASH” zavodida quyidagi konsolinasoslar ishlab chiqarilmoqda: K 200 – 125 – 330; K 200 – 15 – 268; K 100 – 250 a; K 100 – 65 – 200 a; K 80 – 85 – 860; K 65 – 50 – 160; K 40 – 32 – 128; K 40 – 32 – 128a; K 65 – 50 – 152; K 80 – 50 – 200; K –100 – 80 – 160; K 65 – 50 152 a; K 80 – 50 – 200 a, K – 100 – 80 – 160 a.

263

7.2.3. Ishchi g'ildiragiga ikki tomondan suyuqlik kiruvchi markazdan qochma nasoslar.

Ish g'ildiragiga ikki tomondan suyuqlik kiruvchi markazdan qochma nasoslar (Д-dvuxstoronniy), nisbatan toza suyuqliklarni ko'tarib berish uchun mo'ljallangan (rasm 7.7). Ularning sarfi-40-12500 $m^3/soatni$, bosimi-8-130 m ni va foydali ish koeffitsient (F.I.K.) $i=70-90$ foizni tashkil qilishi mumkin.

Ushbu turdagi nasoslarning vali gorizontol holatda joylashgan. Nasos ko'tarib berayotgan suyuqlik, so'rish patrubkasidan keyin ikki oqimga ajraladi va ish g'ildiragining-11 markaziy qismiga ikki tomondan kirib keladi, ya'ni bir ish g'ildiragi xuddi ikki barobar suyuqlik uzatayotgandek tuyuladi. Ish g'ildiragi po'lat valga-14 himoya vtulkalari-6 va gaykalar-4 bilan mahkamlanadi. Agar, harakatga keltirish tomonidan qaralganda, val, soat miliga teskari tomonga aylanadi. So'rish patrubkasi nasosning chap tomonida, bosim patrubkasi esa o'ng tomonida joylashgan. Ikkala patrubka ham gorizontol holatda bo'lib, nasos o'qidan pastda joylashgan. Ish g'ildiragiga kiraverishda, suyuqlikni siriqib oqishini kamaytiruvchi va korpus-18 hamda qopqoqni-8 eyilishdan himoya qiluvchi, himoya-zichlovchi xalqa-10 o'rnatilgan. Sal'nikli tiqin va uzatish quvurchali-7 gidravlik zichlash halqasini o'z ichiga olgan sal'nikli zichlamalar uzeli, nasosdan suyuqlikni siriqib oqishini kamaytiradi va unga atmosferadan havo so'rilishini bartaraf qiladi. Harakat qilishi va konstruksiyasi jihatidan bu uzellar ham xuddi konsoli nasoslarga o'xshaydi.

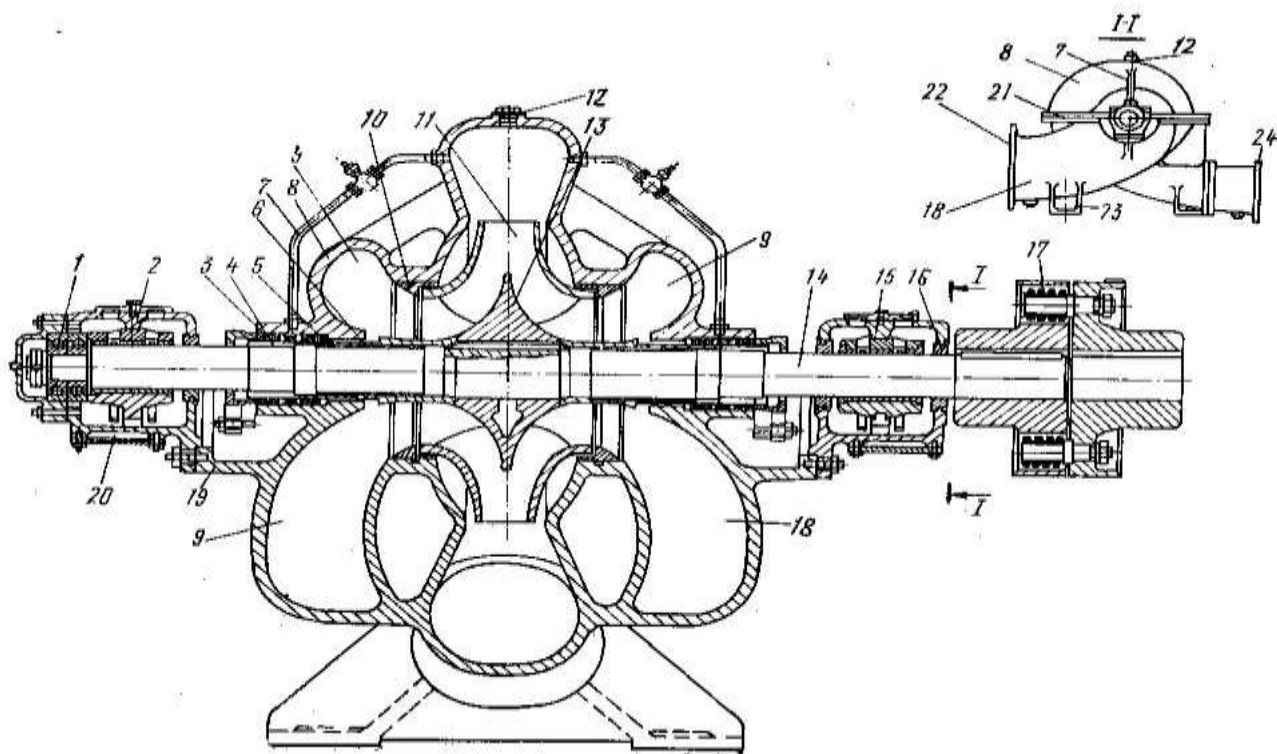
Podshipniklarga-1, 2, 15 tayanch hisoblanuvchi kronshteynlar-19, korpus bilan bir butunlikni tashkil qiladi. Kameradan-20 podshipniklar-2, 15 korpusini sovitish uchun suv uzatiladi va bu podshipniklar perimetri bo'ylab yog'lanib turadi. Ish g'ildiragining ikkala tomoniga ta'sir qiluvchi gidravlik kuchlar simmetrik bo'lgani uchun, ular bir-biri bilan muvozanatlashadi. Shuning uchun, nasos valiga tushadigan o'qiy zo'riqishlar juda kichikdir. Muvozanatlashmay qolgan o'qiy zo'riqishlarni sharikopodshipnik-1 qabo'l qiladi. Ushbu turdagi nasoslarning ba'zilariga, sirpanish podshipniklari o'rniga, bir vaqtning o'zida o'qiy zo'riqishlarni qabo'l qiluvchi sharikopodshipniklar o'rnatiladi. Korpus qopqog'idagi tirqishga-12 vakuum nasos ulanadi.

Ish g'ildiragi ikki tomonlama suv qabo'l qiluvchi nasoslar, konsolli nasoslarga qaraganda quyidagi afzalliklarga ega: valga tushadigan o'qiy zo'riqishlar muvozanatlashtirilgan; F.I.K. yuqoriroq; ish g'ildiragi valning

Hozirgi kunda O'zbekiston Respublikasining "SUVMASH" zavodida ish g'ildiragiga ikki tomondan suv kiruvchi nasoslarning quyidagi turlari ishlab chiqarilmoqda: Д 630 – 90 a; Д 1250 – 125 a; Д 1250 – 65; Д 630 – 90; Д 320 – 50.

Ushbu nasoslarning yig'ma grafigi, turlari, texnik va ishchi xarakteristikalari ilovada, tamg'aga oid belgilari esa birinchi bo'limda keltirilgan.

Ish g'ildiragiga ikki tomondan suv kiruvchi gorizontol markazdan qochma nasoslar shahar, sanoat, qishloq xo'jaligini suv bilan ta'minlashda qurilishda, kommunal, dexqon- fermer va tomorqa – bog'dorchilik xo'jaliklarida, shunigdek, tog' – kon, metallurgiya va boshqa sohalarda ishlatiladi.



7.6-rasm. Ish g'ildiragiga ikki tomondan suv kiruvchi gorizontall markazdan qochma nasosning konstruksiyasi

1-radial-tayanch sharikopodshipnik; 2, 15-sirpanish podshipniklari uzeli; 3, 18-sal'nik va nasosning korpuslari; 4-gayka; 5-grundbuksa; 6, 17-tayanch-himoya va rezina vtulkalar; 7-gidravlik zichlash quvurchasi; 8-nasos korpusining qopqog'i; 9, 20-ish g'ildiragi va podshipnikka suyuqlikni spiral'simon uzatuvchi kameralar; 10-himoya-zichlovchi xalqa; 11-ish g'ildiragi; 12-vakuum nasosni ulash tirqishi; 13-ish g'ildiragi gupchagi; 14-val; 16-zichlama; 19-kronshteyn; 21-korpusni ajratish tekisligi; 22, 24-kirish va bosim patrubkalari; 23-tayanch panjalari. O'rtasiga joylashtirilganligi uchun, radial siljish juda kichik; nasos korpusini-21 gorizontall ravishda ajratish mumkinligi sababli, so'rish va bosim quvurlarini echib olmasdan, uni qismlarga ajratish imkonini beradi, bu esa o'z navbatida, ta'mirlash hamda profilaktik ishlarini olib borishni osonlashtiradi. Nasosning korpusi, qopqog'i va ish g'ildiragi cho'yandan, vali esa, po'latdan tayyorlanadi

7.2.4. Ko'p bosqichli markazdan qochma seksiyali nasoslar

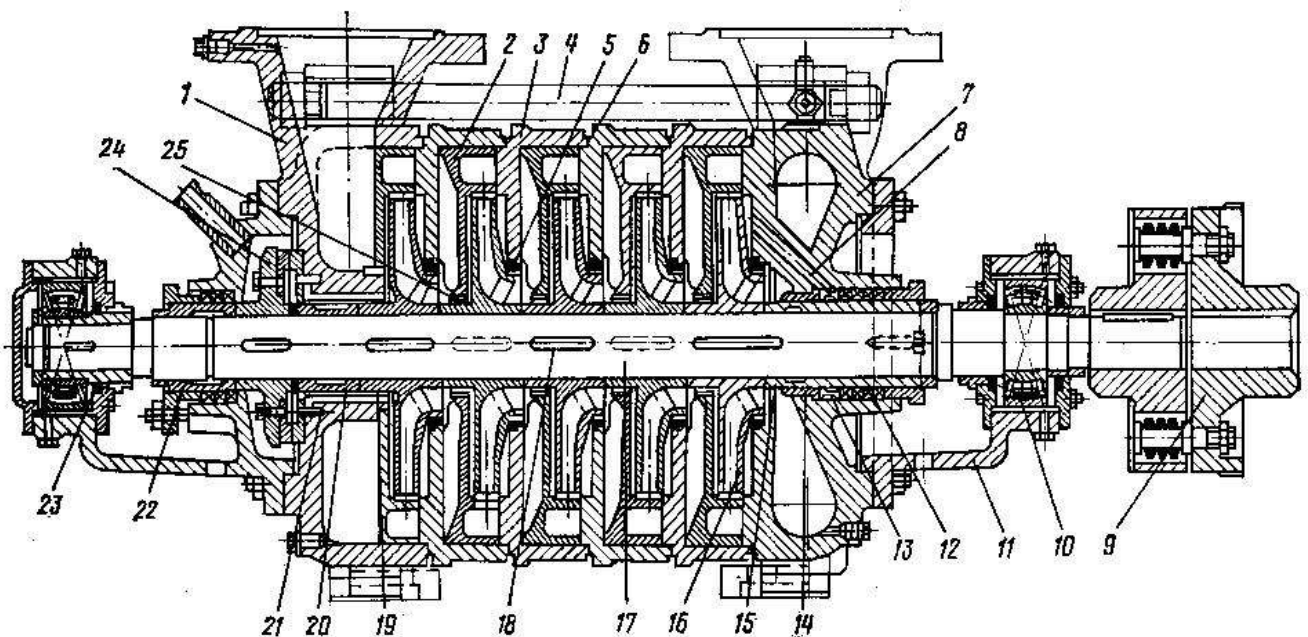
Ko'p bosqichli ЦНС (центробежный насос секционный – markazdan kochma seksiyali nasos) turidagi nasoslar, 0,1 massasi foizdan ko'p bo'lmagan va o'lchamlari 0,1 mm gacha bo'lgan mexanik aralashmali suyuqliklarni ko'tarib berishga mo'ljallangan. Ular bir necha seksiya (3-11) dan iborat bo'lib, ularga gorizontall valga mahkamlangan ish g'ildiraklari joylashtirilgan (rasm 7.8).

Ko'tarib berilayotgan suyuqlik navbat bilan bir necha ish g'ildiragidan o'tadi. Bu nasoslarning sarfi 30-350 m³/soatni bosimlari – 25-80 m ni F.I.Ki – 60-73 foizni tashkil qiladi.

Besh bosqichli ЦНС nasosida, suyuqlik, so'rish patrubkasidan kirish qopqog'iga -7, so'ngra birinchi bosqichning ish g'ildiragiga -16 uzatiladi. Birinchi ish g'ildiragidan so'ng, suyuqlik parrakli yo'naltiruvchi apparat - 2 va maxsus kanallar orqali, ikkinchi bosqich ish g'ildiragining kirish qismiga uzatiladi. Bu jarayon 5 bosqichgacha shu yo'sinda davom etadi. Oxirgi seksiyasidan tashqari

nasosning barcha seksiyalari bir xildir. Bu esa, seksiyalar sonini, valning uzunligi - 17 va mahkamlash shpilkalarini -4 o'zgartirish yo'li bilan nasosning bosimini har xil miqdorda olish imkonini beradi.

Ko'p bosqichli nasoslarda, har bir ish g'ildiragi ishlaganda hosil bo'ladigan o'qiy zo'riqishlar katta miqdorni tashkil qiladi. Shuning uchun bunday nasoslar, odatda, zo'riqishlarni kamaytiruvchi valga -17 mahkamlanadigan gidravlik tovonli qurilma bilan ta'minlanadi. Suyuqlik nasosning oxirgi bosqichidan, tirqish -19 orqali, yuqori bosim hosil qiladigan gidravlik tovonga -24 uzatiladi. Bu bosimning ta'sirida tovon val bilan birgalikda chapga so'riladi. Val uncha katta bo'lmagan o'qiy lyuftga ega bo'lganligi uchun, harakatlanuvchi tovon va qimirlamaydigan nasosning chetki devori orasidagi oraliq kattarib boradi. Natijada, kameradagi suyuqlikni siriqib o'tishi ko'payib, undagi bosimni pasayishi kuzatiladi. Ishchi g'ildiraklarining ishlashi natijasida hosil bo'ladigan o'qiy kuchlar natijasida, val o'ngga so'riladi, oraliq yana kamayadi hamda gidravlik tovon kamerasidagi bosim ortadi. Jarayon shu tariqa davom etadi. Gidravlik tovondan o'tgan suyuqlik maxsus quvurcha orqali gidravlik tig'izlashga yoki nasosning so'rish magistraliga uzatiladi yoki tashqariga tashlanadi.



7.8-rasm. Ko'p bosqichli markazdan qochma seksiyali nasosning konstruksiyasi.

1-bosim patrulkasi; 2-yo'naltiruvchi apparat; 3-seksiya korpusi; 4-mahkamlash shpilkasi; 5, 25-himoyalovchi-zichlovchi halka; 6-rezina shnur; 7-kirish qopqog'i, so'rish patrulkasi bilan; 8-zichlamaga suyuqlik uzatuvchi tirqich; 9-elastik mufta; 10-rolikli podshipnik; 11-kronshteyn; 12-sal'nikli uzal; 13-gidravlik tig'izlash xalqasi; 14-grundbuksa; 15, 20, 21-mos holda, tayanch hximoyalovchi, distansion va zo'riqishlarni kamaytiruvchi vtulkalar; 16-ish g'ildiragi; 17-val; 18-shponka; 19-gidravlik tovonga suyuqlik uzatuvchi tirqish; 22-gayka-vtulka; 23-podshipnik qopqog'idagi zichlagich 24-gidravlik tovon.

IQHC nasoslaridagi sal'nikli zichlagichlarning harakat prinsipi xuddi konsolli va ikki tomnlasuv kiruvchi nasoslarnikiga o'xshaydi. Chap sal'nikli qurilmada gidravlik zichlash amalga oshirilmaydi, chunki bu erda atmosferadan havo so'rilmaydi. Valning tayanchi bo'lgan podshipniklar -10 kronshteynlarga - 11

IQHC turidagi nasoslarning qismlari choʻyandan, uglerodli va zanglamaydigan poʻlatdan tayyorlanadi. Bunday nasoslarning gabarit oʻlchamlari va massasi kichik boʻladi. Asosiy kamchiliklari: vertikal tekislikda qismlarga ajratish murakabligi natijasida taʼmirlash va profilaktika ishlarini qiyinla-shishi; nisbatan toza suyuqlikda ishlashi; F.I.K ining nisbatan pastligi.

Ushbu turdagi nasoslar, yuqori bosim talab qiladigan ichimlik suvi bilan ta'minlash sohasida qo'llaniladi.

Fekal nasoslari

1-so'rish patrubkasi, oldingi qopqog'i bilan; 2-tozalash turish tirqishi lyukining qopqog'i; 3-himoyalash-zichlash halqasi; 4-ish g'ildiragi; 5-kontur gayka; 6-gayka; 7-olib ketuvchi- korpus; 8-sal'nikni gidravlik zichlash uchun suv uzatish; 9-sal'nikli tikin; 10-sal'nik qopqog'i; 11, 14-radial tebranish podshipniklari; 12-stakan-podshipniklarni o'rnatish uyasi; 13-radial-tanyach podshipnik; 15-kronshteynli tayanch; 16-val; 17-gidravlik zichlash halqasi; 18-vtulka.

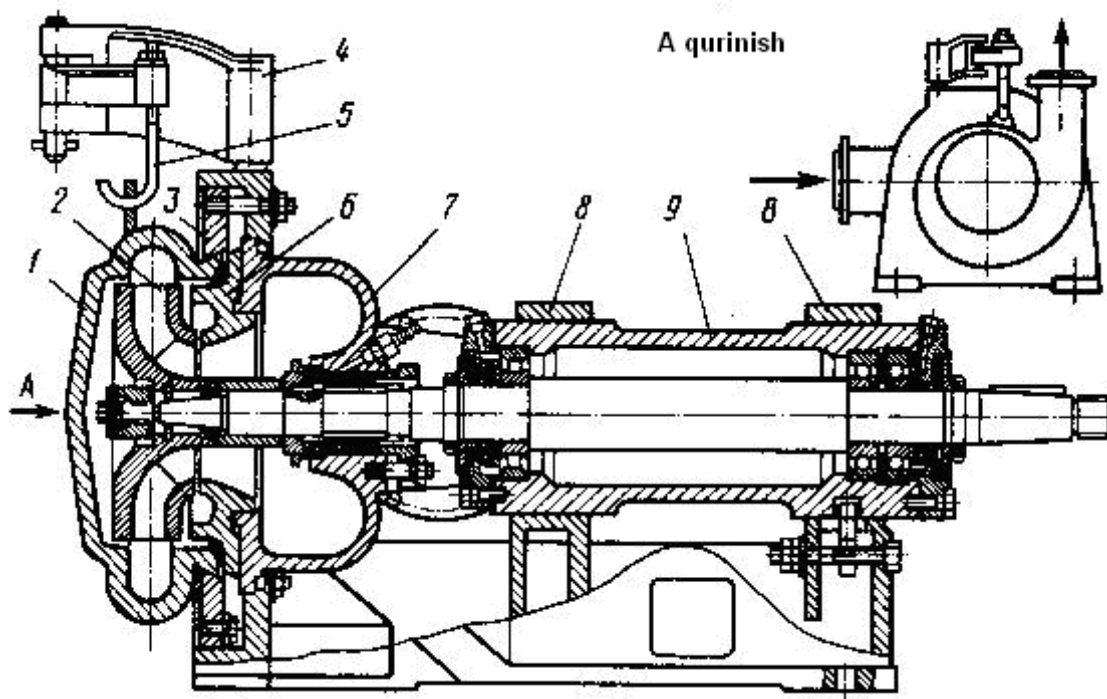
267

kanallarga ega. Nasosga kirishda va olib ketishda, kirish qismini va ishchi g'ildirakni tozalab turish uchun germetik qopqoqli lyuk o'rnatiladi. 7.9 -rasmda fekal nasosining konstruksiyasi keltirilgan.

Qum nasoslari.

Bir bosqichli, konsolli, gorizontal va vertikal nasoslar harorati, 60°C gacha bo'lgan har xil gidroaralashmalar (qum, shag'al va boshqalar) ni haydashda ishlatiladi. Ularning sarfi $15 - 1800\text{ m}^3/\text{soatni}$, bosimi $10 - 50\text{ m}$ ni tashkil qiladi. Suyuqlik oqadigan qismi emirilishga chidamli materialdan tayyorlanadi.

7.10 – rasm, kuyukligi $1,8\text{ dm}^3$ qumli va shag'alli suyuq aralashmani ko'tarib beruvchi nasosning konstruksiyasi keltirilgan.



7.10-rasm. Qumli va shag'alli suyuq aralashmani ko'tarib beruvchi nasosning konstruksiyasi.
 1 –spiralsimon olib ketgich; 2 –ish g'ildiragi; 3 –ikkita yarim halqadan iborat siqish xalqasi;
 4 – buriladigan kronshteyn; 5–ilgak; 6 – zirhli disk; 7 - xalqasi-mon olib kelgich; 8 –tayanch
 ustunlari (kronshteynlar) ; 9 – tayanch ustunlarida siljувchi stakan.

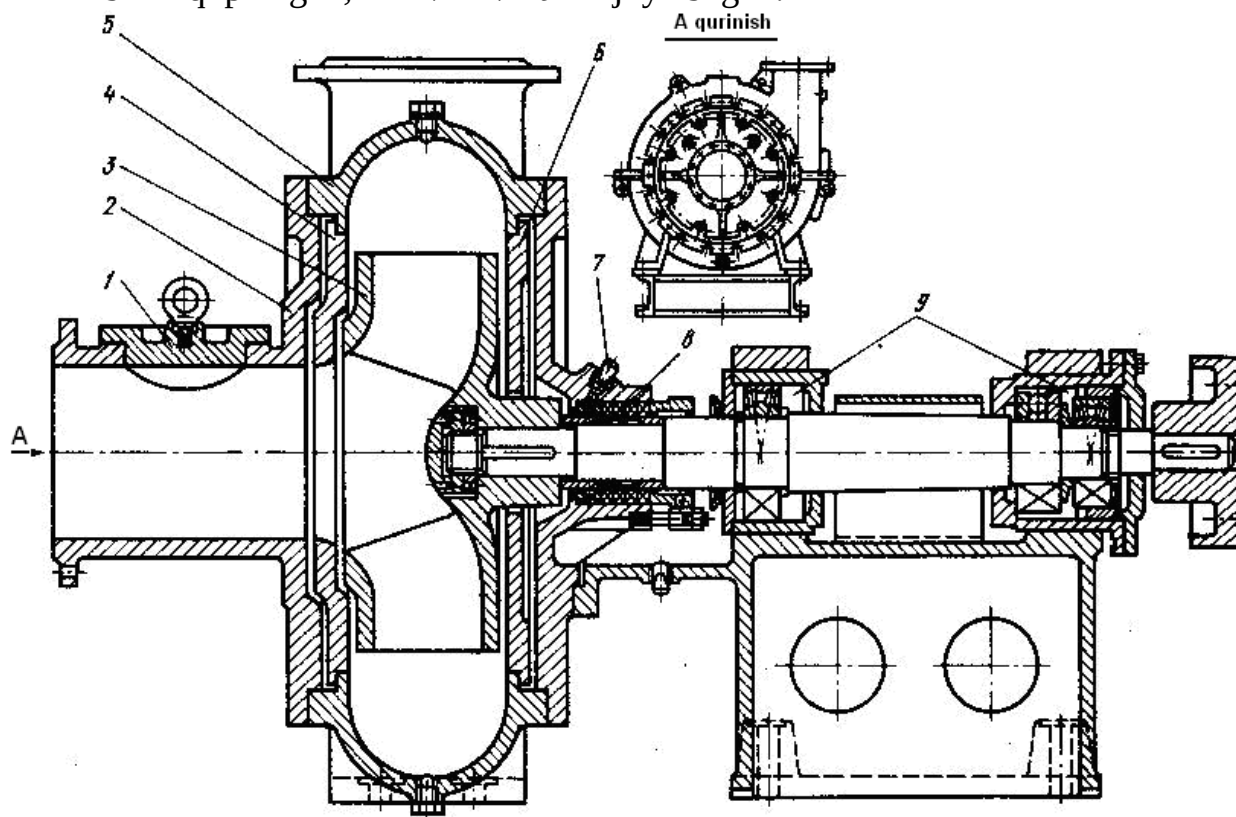
Spiralsimon olib ketgich -1, zirhli disk -6, halqasimon olib kelgich - 7-larning hammasi, ikkita yarim halqa va tortish shpilkalaridan iborat siqish xalqasi - 3 yordamida korpusdagi kronshteynga mahkamlanadi. Buriladigan kronshteyn -4, ilgak -5 bilan birgalikda, spiralsimon olib ketgichni qismlarga ajratishda yoki bosimli patrubkani burishda (230° ga burish mumkin) ularni tutib turish uchun xizmat kiladi.

Loyqa nasoslari (tuproq so'ruvchilar) .

Bir bosqichli, konsolli, gorizontal va vertikal nasoslar, obraziv gidroaralashmalar (loyqa, qum, torfli, ko'mirli va boshqalar) ni haydash uchun xizmat qiladi. Bu nasoslarning sarfi $7 - 16000\text{ m}^3/\text{soat}$, bosimi $8 - 80\text{ m}$ atrofida bo'ladi (7.11-rasm) .

Markazdan qochma loyqa nasoslarning quyidagi turlari tayyorlanadi: Л– (легкие) engil, bir korpusli; Р– rezina bilan qoplangan; Т – (тяжелые) og'ir, ikki korpusli, emirilishga chidamli metall bilan himoyalangan. Loyqali nasoslar

quyidagicha belgilanadi: 5 Гр Л – 8; 10 Гр ТВ – 8; 5 Гр РВ – 8. bunda: 5, 10 – kirish patrubkasining 25 marta kichraytirilgan diametri, *mm*; Гр – (грунтовый) loyqa so‘ruvchi; ГРy – loyqa so‘ruvchi, suyuqlik oqadigan qismi kattalashgan qirqimli; Л – (легкие) engil, bir korpusli; Т – (тяжелые) og‘ir, ikki korpusli; Р – rezina bilan qoplangan; В – vali vertikal joylashgan.



7.11-rasm. Zirxli diskli, tuprok so‘ruvchi nasosning konstruksiyasi.

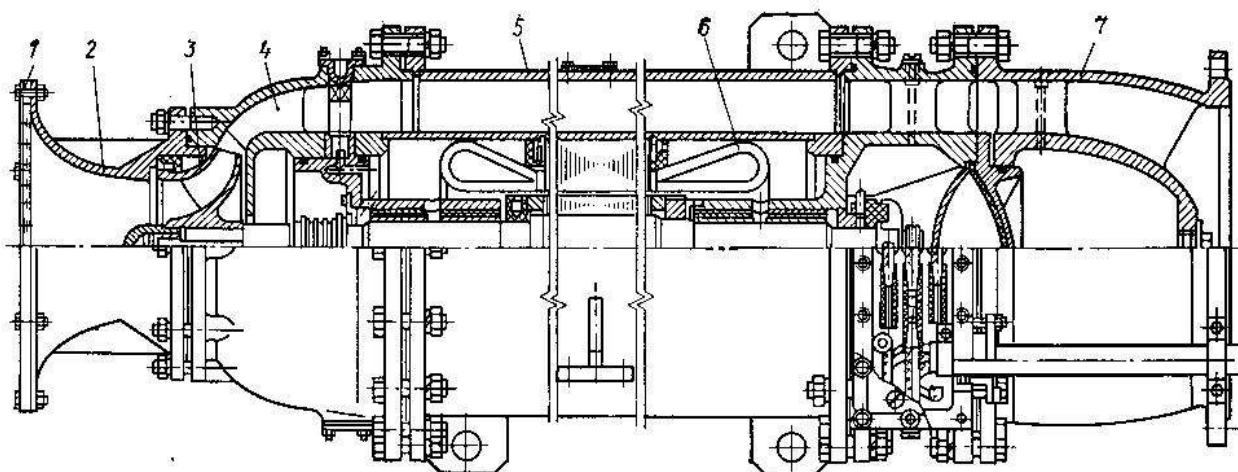
1–kirish patrubkasidagi kuzatish tirqishi; 2–korpus qopqog‘i; 3–ish g‘ildiragi; 4, 6–zirxli disklar; 5–spiralsimon olib ketgichli korpus; 7–gidrozatvorga toza suv uzatuvchi shtuser; 8 – sal’nik;
9–podshipniklar;

Fekal, qum-shag‘al va tuproq so‘ruvchi nasoslar markalaridagi belgilar birinchi qismda keltirilgan.

7.2.6. Suyuqlikka botirib ishlatiladigan markazdan qochma monoblok nasoslar

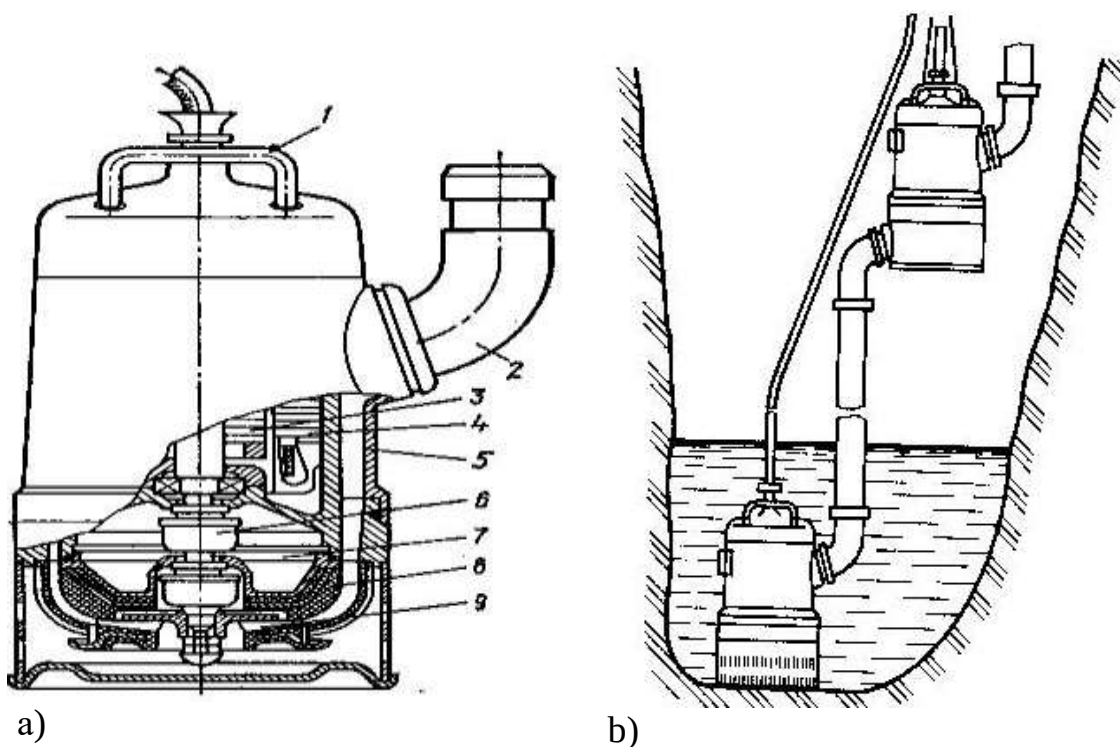
Botirilgan monoblok nasoslarda dvigatel va nasos bir butun bo‘g‘inni tashkil qiladi va u suyuqlikka botirilib ishlatiladi. Ochiq manbalardan, nisbatan toza suyuqlikni uzatish uchun sarfi 400 m^3 /soatgacha bo‘lgan ЦМПВ turdagi nasoslar ishlatiladi. bunda: Ц – (центробежный) markazdan qochma; М – monoblokli; Р – (погружной) botiriladigan; В – (водяной) suvga mo‘ljallangan.

7.12 – rasmda suyuqlikka cho‘ktirilib ishlatiladigan markazdan qochma monoblokli nasosning konstruksiyasi keltirilgan.



7.12-rasm. Suyuqlikka cho'ktirilib ishlatiladigan markazdan qochma monoblokli nasosning konstruksiyasi

1-simto'r; 2, 7 - so'rish va bosim patrulkalari; 3-ish g'ildiragi; 4-parrakli, to'g'rilovchi apparat; 6-nasosning korpusi; 7-elektrodvigatel.



7.13-rasm. GHOM turidagi cho'ktirib ishlatiladigan monoblokli nasosning konstruksiyasi (a) va ikkitasini ketma-ket o'rnatish sxemasi (b) .

1 – dasta; 2 – bosim patrulkasi; 3, 4 – elektrodvigatelning rotor va statori; 5 – nasosning korpusi; 6 – zichlagich; 7 – ajratish kamerasi; 8 – rezinalashtirilgan olib ketgich; 9 – oldingi disksiz ish g'ildiragi.

Kotlovan va transheyalardagi er osti suvlarini, maishiy va ishlab chiqarishdagi, metropoliten va shaxtalardagi, vodoprovod va kana-lizasiya tarmoqlarini ta'mirlash-dagi oqava suvlarni ko'tarib berish-da hamda qishloq xo'jaligida, sug'o-rish va quritish uchun, sarfi $200 \text{ m}^3/\text{soatgacha}$ bo'lgan GHOM turidagi nasos qo'llaniladi. bunda: Г – (грязевой) iflos suv uchun; N – nasos; O –

(одноступенчатый) bir bosqichli; M – monoblokli. Bunday nasoslarda bosim 10 ...40 m ni, nasos agregatining F.I.K. esa, 30 ...65 foizni tashkil qiladi. 7.13 – rasmda GHOM turidagi monoblokli nasosning konstruksiyasi va ularning ikki donasini ketma-ket ulab oʻrnatish sxemasi keltirilgan. GHOM nasosining silindrsimon korpusi alyuminiydan tayyorlangan. Ish gʻildiragiga suv uzatiladigan, korpusning pastki qismi yon yuzasiga, himoya toʻr setkasi joylashtirilgan. GHOM nasoslari, kotlovon va xandaklarning tubiga vertikal tarzda oʻrnatiladi yoki trosarga osib qoʻyiladi (rasm 7.13 b) . Ular manbadagi suv bilan, elektrodvigatel esa, nasos korpusining halqali kanali orqali koʻtarib burilayotgan suv bilan sovoʻtiladi.

7.2.7. Quduqli markazdan qochma nasoslar

Seksiyali, bir gʻildirak bilan va koʻp seksiyali nasoslar, quduqlardan, ichimlik suvi uzatishda, suv sathini pasaytirishda va sugʻorish qoʻllaniladi. Oʻrnatish va ekspluatasiya qilish, texnik talablarga amal qilgan holda, bu nasoslardan ochiq suv manba (daryo, kanal, koʻl va boshqa) laridan ham suv koʻtarib berishda foydalanish mumkin. Bu nasoslarni ikki guruxga boʻlish mumkin:

- nasoslari quduqdagi suvga tushiriladigan, elektrodvigatellari esa, quduklarning ustiga oʻrnatiladigan;
- nasos ham elektrodvigatel ham, belgilangan suv sathigacha quduqning ichiga tushiriladigan.

Quyida ushbu nasoslarni koʻrib chiqamiz.

Transmission valli quduqli nasoslar.

Birinchi gurux nasos qurilmalarida, nasos va elektrodvigatel suv koʻtarish quvuri ichida joylashgan uzun val (transmissiya) bilan bir-biriga ulanadi. Bu kabi nasoslarning quyidagi uch xil turi ishlab chiqariladi: IqTB; ATH; A. Bu harflar va boshqa belgilarning mazmuni, birinchi boʻlimning 7.9-paragrafida berilgan.

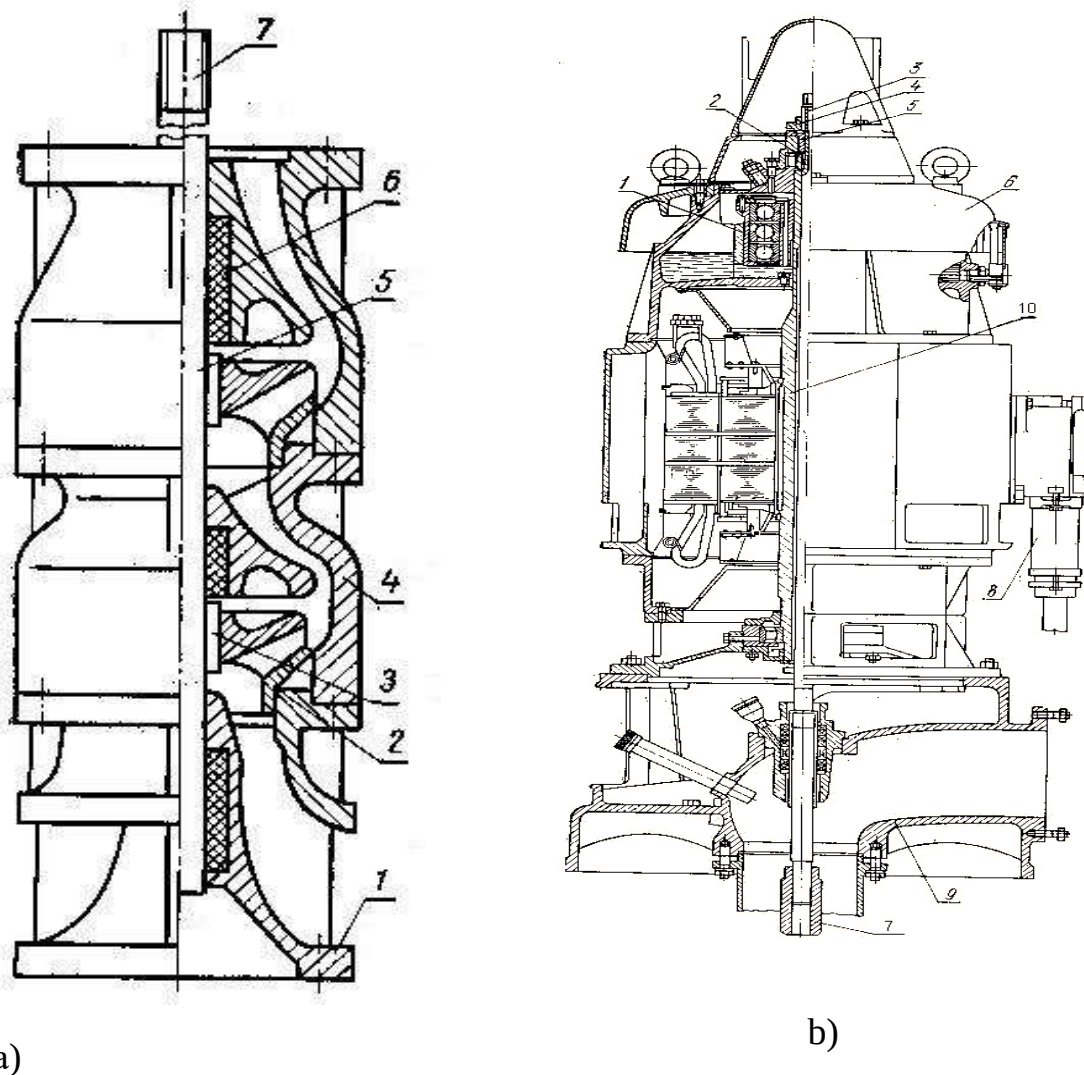
IqTB markali nasoslar, temperaturasi 35°C, kam mineralizatsiyali, tarkibida 0,1 foiz mexanik aralashmalar boʻlgan suvlar uchun moʻljallangan. Bu nasoslar, quduq ustiga oʻrnatilgan, uzunligi 100 m transmission val bilan ulangan elektrodvigatellar yordamida harakatga keltiriladi. Ularning sarfi 4-1250 m³/soatni, bosimi 20-200 m ni F.I.Ki esa 60-70 foizni tashkil qiladi. IqTB nasoslarining quduqqa kiydiriladigan ichki diametriga nisbatan 25 marta kichraytirilgan va yaxlitlashtirilgan quyidagi oʻlchamlari oʻrnatilgan: 6, 10, 12, 14, 16, 20.

IqTB turidagi nasoslarning ish gʻildiragi, suvning radial va diagonal harakatiga mos ravishda tayyorlanadi, vertikal oʻqiy zoʻriqlashlarni esa elektrodvigatelning pastidagi tayanch staninasida joylashgan sharikli tovon qaboʻl qiladi.

ATH va A markali nasoslar, temperaturasi 30°C va tarkibida 0,5 foiz mexanik aralashmalar boʻlgan suvlarni koʻtarib berishga moʻljallangan. Ularning sarfi - $Q = 25 - 1250 \text{ m}^3/\text{soatni}$, suv koʻtarish balandligi – $H = 25 - 150 \text{ m}$ va FIK - $\eta = 60 - 70$ foizni tashkil qiladi.

ATH nasoslari ish gʻildiragida suv, diagonal boʻylab (val oʻqiga nisbatan burchak ostida) harakat qiladi. Vertikal oʻqiy zoʻriqlashlarni esa, elektrodvigatelning yuqori qismida joylashgan sharikli tovon qaboʻl qiladi.

A markali ish g'ildiragiga suv, o'q bo'ylab kiradi va ish g'ildiragidan esa radial bo'ylab chiqib ketadi. Nasosda hosil bo'ladigan o'qiy zo'riqlashlarni, elektrodvigatel ostidagi tayanch qismida joylashgan sharikli tovon qabo'l qiladi.



a)

b)

7.14-rasm. ATN turidagi nasosning konstruksiyasi.

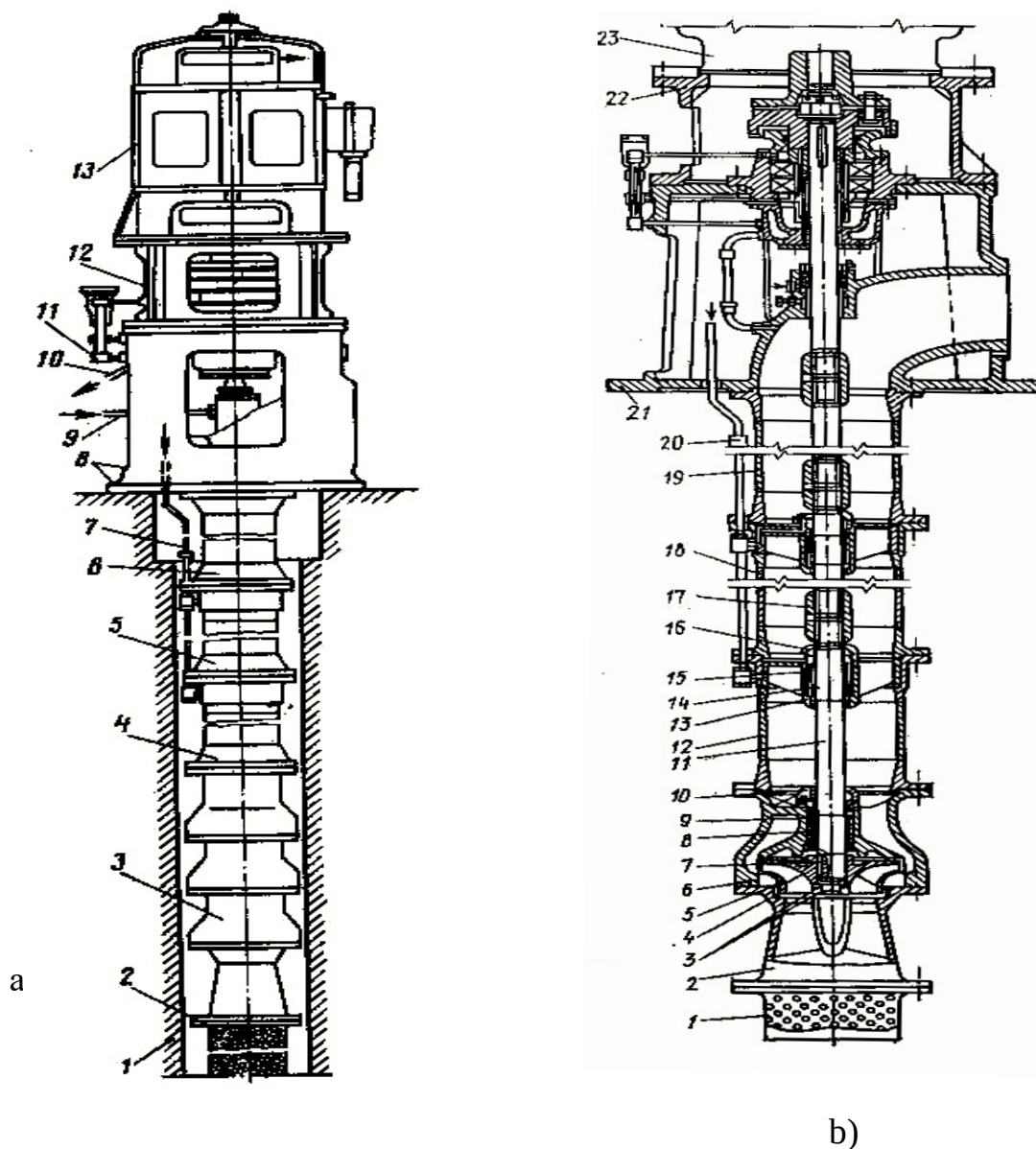
a – ATH turidagi nasos: 1-suv uzatilishi; 2-ish g'ildiragi; 3-vtulka; yo'naltiruvchi apparat; 5-val; 6-podshipnik; 7-transmissiyaga mufta bilan ulanadigan nasos valining oxiri.

b – ATH nasosining elektrodvigateli va aylantirish qalpoqchasi: 1-tovon; 2-aylantirish muftasi; 3-aylantirish vali; 4-tartibga soluvchi gayka; 5-shponka; 6-elektrodvigatel';

7-harakatga keltiruvchi valni transmissiya bilan ulash muftasi; 8-elektr uzatuvchi kabelning kirish qismi; 9-tayanch staninasi va bosim tirsagi; 10-elektrodvigatelning g'ovak vali.

Ushbu nasoslarda, ish g'ildiragidan chiqayotgan suv, yo'naltiruvchi moslama yordamida keyingi bosqichga yoki suv ko'tarish quvuriga olib ketiladi. Yuqorida joylashgan ish g'ildiragini, nasosni tayyorlagan zavod tomonidan ko'rsatilgan miqdorda, quduqning dinamik sathidan pastga joylashtirish lozim. Quvurlar va transmissiyalar seksiyalarining uzunligi, nasoslarning turlari va suv sarfiga qarab, 2300-2600 mm atrofida o'zgarib turadi. IqTB nasoslarining ish g'ildiragi cho'yandan, yo'naltiruvchi apparati po'lat va cho'yandan, A va ATH turdagi nasoslarda esa, vali po'latdan, korpusining qismlari cho'yandan, podshipniklarining

vkldishi rezinadan tayyorlanadi. Nasos va quvurlarining radial' podshipniklarini xo'llab turish (moylash) , IqTB va ATH nasoslarida o'zlari ko'tarib berayotgan suv bilan, A turdagi nasoslarda esa, tindirilgan suv va 0,1 MPa miqdordagi ortiqcha bosim bilan amalga oshiriladi.



7.15-rasm. A turdagi transmissiyali nasos qurilmalari konstruksiyasi.
a – 20 A -18×3 nasosining o'rnatish sxemasi: 1 - quduqqa kiydirilgan quvur; 2-tur setka; 3-nasos (uch seksiyali) ; 4, 5, 6-suv ko'tarish quvuri seksiyalari, mos holda, o'tuvchi, normal, o'tuvchi; 7-podshipniklarga toza suv olib keluvchi quvurcha; 8-tayanch korpusi; 9-sal'nikka toza suv olib keluvchi; 10-tovon-podship-nik yog'lash vannasidan sovutuvchi suvni to'kish 11-yog ko'rsatkich; 12-motor ostidagi yoritgich; 13-elektrodvigatel'.
b - bir g'ildirakli 24 A-18×1 nasos-ning konstruksiyasi: 1-suv qabo'l qilish turi; 2-so'rish patrubkasi; 3-gayka va kontur gayka; 4-himoya – zichlovchi halqa; 5-ish g'idiragi; 6, 21-parakni yo'naltiruvchi apparatning va tayanch korpuslari; 7-shponka; 8, 14-vtulakalar; 9, 15-vkladishlar; 10, 16- suv qarshiliksiz aylanib o'tuvchi qismlar; 11-val, 12, 18, 19- suv ko'tarish quvuri seksiyalari, mos holda, o'tuvchi, normal, utuvchi; 13-krestavina; 17-valning muftasi; 20-podshipniklar-ni ho'llab turishi uchun toza suv olib kelish quvurchasi; 22- motor ostidagi yoritgich; 23-elektrodvigatel'.

Nasoslarning bosimini aniqlashda, suv ko'tarish quvurlaridagi gidravlik qarshilik miqdori, nasosni tayyorlagan zavod bergan ma'lumotdan va nasoslar katalogidan olinadi. Nasoslarni suyuqlikka cho'ktirib ishlatish natijasida, so'rish liniyasiga teskari klapan o'rnatish zarurati qolmaydi. Suv qabo'l qilish turining pastki qismi, quduq tubidan 1,5-2,0 m yuqoriga joylashtiriladi.

Transmission valli quduqli nasoslarni o'rnatishga quyidagi talablar qo'yiladi: transmissiya valini juda aniq qilib vertikal o'rnatish; quduqning egri qazilishiga yo'l qo'ymaslik; ko'rilmanni nasosni ishlab chiqargan zavodning ko'rsatmasiga asosan, juda puxta yig'ish.

Qarab chiqilgan nasoslar quyidagi ba'zi bir kamchiliklarga ega: quduqda ishlab turgan nasos agregatini kirib ko'rishning imkoni yo'q; juda chuqurdan suv olishda ikkita nasos o'rnatish zarurligi-birini quduqqa, ikkinchisini esa, er ustiga; ekspluatatsiya qilishning qiyinligi; ta'mirlash vaqtida nasoslarni (valni, yo'naltiruvchi podshipniklarni, muftani va boshqalarni) qismlarga ajratish va yig'ishning murakkabligi; valning va nasos qismlarining zanglashi hamda tez eyilishi.

7.14-rasmda ATH turidagi nasos agregatining konstruksiyasi, 7.15 rasmda esa, A turidagi nasosning o'rnatish sxemasi (a) va konstruksiyasi (b) keltirilgan.

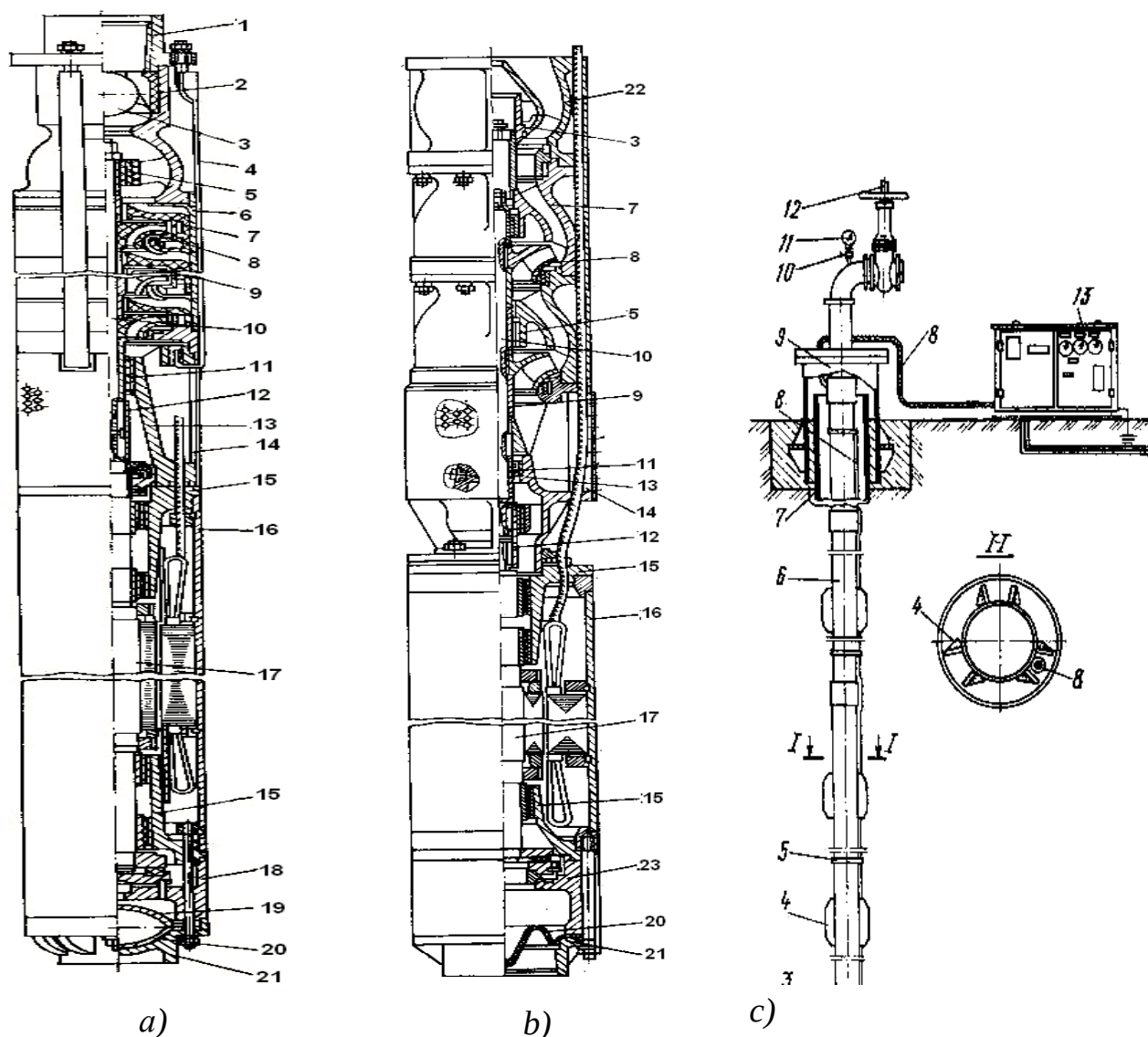
To'g'ri yig'ilganda va ekspluatatsiya qilinganda bu nasoslar, hajmiy nasoslar va erlift – suv –havo ko'targichlarga qaraganda bir kancha afzalliklarga ega.

Elektrodvigateli suvga cho'ktiriladigan quduqli nasoslar.

Transmission valli nasos qurilmalaridagi kamchiliklar, yuqorida ko'rsatilgan ikkinchi gurux nasos agregatlarini – elektrodvigateli bilan birgalikda suvga cho'ktirib ishlatiladigan nasos qurilmalarini yaratilishiga sababchi bo'ldi. Bu qurilmalarda, nasos va elektrodvigatel' bir butun monoblokli agregat bo'lib, quduqning dinamik sathidan pastga tushiriladi. cho'ktirilgan elektrodvigatelga energiya, maxsus kabellar orqali er ustidan uzatiladi. Bu nasoslarning barchasi, ЭҚБ belgisi bilan bir seriyaga birlashtirilgan va ularning katta kichik 100 dan ortiq turlari diametri 100-500 mm li quduqlar uchun ishlab chiqariladi. bunda : Э – botiriladigan elektrnasos; И – (sentrobejny) markazdan qochma; В – (vodyanoy) suvga mo'ljallangan. Qolgan belgilari birinchi bo'limda keltirilgan. Ushbu nasoslar 4, 6, 8, 10, 12, 14 va 16 diamerli quduqlarga moslashtirilib ishlab chiqariladi (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 – quduqqa kiydirilgan quvur ichki diametrining 25 marta kichraytirilgan va yaxlitlashtirilgan miqdori, mm) .

ЭҚБ turdagi nasoslar, temperaturasi 25° C gacha, 0,01 foiz mexanik aralashmali, umumiy mineralizatsiyasi 2000 mg/l, 550 mg/l dan kam xloridli va sul'fatli hamda 1,5 mg/l dan kam serovodorodli suvlarni ko'tarishga mo'ljallangan. Ushbu nasoslarning suv sarfi – $Q = 0,63 - 1200 \text{ m}^3/\text{soatni}$, bosimi - = 12-680 m ni, F.I.Ki esa - $\eta = 40 - 75$ foizni tashkil qiladi.

Nasos agregatlari, markazdan qochma va diagonal' turdagi ish g'ildiraklari bilan tayyorlanadi. 7.16 – rasmda, markazdan qochma (a) va diagonal (b) ish g'ildirakli ЭҚБ turdagi nasos agregatlari konstruksiyalari hamda ularni o'rnatish sxemasi (v) keltirilgan. Ish g'ildiraklari o'qqa mahkamlangan va mahkamlanmagan (o'q bo'ylab erkin siljiydi) bo'lishi mumkin. O'qiy zo'riqlashlarni, dvigatelning tayanch podshipniklari yoki (mahkamlanmagan ish g'ildiraklarida) har bir bosqichning kurakli (yo'naltiruvchi) apparat oboymalari qabo'l qiladi.



7.16-rasm. ЭЦВ турдagi nasoslarning konstruksiyasi va oʻrnatish sxemasi.

a, b – markazdan qochma va diagonal ish gʻildirakli: 1-bosim patrubbasi; 2, 22-podshipnik va klapan korpuslari; 3-teskari klapan; 4-tortgich; 5, 23-radial va tayanch podshipniklari; 6-parrakli olib ketgich oboymasi; 7-parrakli olib ketgich; 8-ish gʻildiragi; 9, 11-zichlovchi va podshipnikli vtulka; 10-val; 12-ulash vtulkasi; 13-olib kelgich; 14-sim tur; 15-podshipnik shiti; 16-stator; 17-rotor; 18-tovon; 19-cheklovchi; 20-diafragma; 21-tub.

c–ЭЦВ nasosini oʻrnatish sxemasi: 1-elektrodvigatelʼ; 2-nasos; 3-salt yurish datchigi; 4-markazlashtiruvchi yoritgich; 5-kabelni mahkamlash xomuti; 6, 7-suv koʻtarish va quduqqa kiydirilgan quvular; 8-elekr kabeli; 9-quduqning geometrik boshi; 10-uch tomonlama jumrak; 11-monometr; 12-zadvijka; 13-boshqaruv va avtomatika sistemalari qutisi.

Nasoslar, suv koʻtarish quvuriga maxsus patrubbalar orqali ulanadi. Bundan tashqari, suv koʻtarish quvuriga, shar shaklidagi yoki tarelkali teskari klapanlar oʻrnatiladi. Klapanlar, agregatni bosim quvuridagi suv ustuni bosimidan hamda elektrodvigatelʼ toʻsatdan toʻxtab qolganda, yuqoridagi suvning suv koʻtarish quvuri orqali quduqqa qaytib tushishi tufayli, nasos ish gʻildiragi va dvigatelʼ rotorini teskari aylanishidan saqlaydi.

Valning tayanchi sifatida, ikki dona (pastki va yuqori) rezina-metalli podshipniklar xizmat qiladi. Bosqichlar soni 10 donadan koʻp boʻlganda,

qo'shimcha o'rta korpus o'rnatiladi va unga qo'shimcha o'rta podshipnik joylashtiriladi. Nasosning podshipniklari ko'tarib berilayotgan suv bilan ho'llab (moylab) turiladi, elektrodvigatel' esa – uni quduqqa o'rnatishdan oldin, stator bo'shlig'iga to'ldirilgan suv bilan sovo'tiladi. Ba'zi agregatlarda, nasos ham elektrodvigatel' ham, ko'tarib berilayotgan suv bilan ho'llanib va sovo'tilib turiladi. Bunday nasoslarda, sovo'tadigan suv, eng yuqori bosqichga joylashtirilgan markazdan qochma tozalagich bilan tozalanadi. Tozalangan suv, nasos va elektrodvigatelning ichi bo'sh vallari orqali podpyatnik (vertikal val o'qi tayanchi) kamerasiga va uerdan labirint qulf orqali elektrodvigatelning bo'shlig'iga yo'naltiriladi.

Nasosni harakatga keltirish uchun ПЭДВ turdagi elektrodvigatellar qo'llaniladi. bunda: П– (pogrujnoy) cho'ktiriladigan; ЭД - elektrodvigatel'; В– (zapolnenny vodoy) suvga to'ldirilgan. Elektrodvigatel' ho'l dvigatellar turiga mansub bo'lib, quduqqa tushirilishidan oldin, u fil'trlangan toza suv bilan to'ldiriladi. Elektrodvigatel' hech qachon «quruq» ishlamasligi zarur. Hattoki nasos qisqa vaqt suvsiz ishlaganda ham, elektrodvigatelning podshipniklari va elektr cho'lg'amlari ishdan chiqishi mumkin.

Elektrodvigatelni elektr energiyasi bilan ta'minlovchi elektr simlari, suv ko'tarish quvurlari kolonnasi bilan birgalikda quduqqa tushiriladi va belbog'lar yordamida ularga mahkamlanadi. Agregat qismlari tarkibiga kiruvchi elektr energiyasi uzatuvchi kabelning uzunligi, nasosning nominal bosimiga teng bo'lishi kerak. bundan tashqari, bu uzunlikka yana 3,5 m (quduq bilan avtomatik boshqaruv stansiyasigacha bo'lgan masofa) va kabelni ulash davrida, o'ralib kolish hamda egilishlar ehtimolini hisobga olgan holda, har bir 50 m tushirilgan kabelga yana 1 m dan ko'shimcha kabel qo'shiladi. Elektrodvigatel' (qisqa tutashuvli, rotorli asinxron) doimo nasosdan pastda joylashadi. Statorning cho'lg'amlaridan, elektr energiyasi uzatuvchi kabelga ulash uchun, 3 dona sim tashqariga chiqib turadi.

Dvigatel' tubiga o'rnatilgan difragma, elektr dvigatelning ichki bo'shlig'i bilan atrof-muhit orasidagi bosimni muvozanatlashtiradi. Dvigatel' haydaladigan suvdan, rezina xalqalar, manjetlar hamda diafragma yordamida himoyalanaadi.

ЭҚВ turdagi nasoslarning: ish g'ildiragi – poliamid, polistrol, bronza, cho'yan va po'latdan; parrakli yo'naltiruvchi apparatlari- polipropilen, bronza, cho'yan va po'latdan; korpusining detallari – cho'yan va po'latdan; vallari – po'latdan; radial podshipniklarining vkladishi esa, rezinadan tayyorlanadi.

Suvga cho'ktiriladigan nasos agregatlari, transmission valli quduqli nasoslarga qaraganda bir qancha quyidagi afzalliklarga ega:

- oraliq podshipnikli uzun vertikal vallar qo'llash zaruriyati qolmaydi, nasosning metal sig'imi kamayadi;
- transmission valning yo'qligi cho'ktiriladigan nasoslarni, egri kovlangan quduqlarda qo'llash imkonini beradi;
- suv ko'taruvchi quvo'ring konstruksiyasi soddalashadi hamda nasos qurilmasini yig'ish va qismlarga ajratish osonlashadi;
- Quduq ustiga quriladigan ayvonning yoki binoning maydoni kamayadi.

Hozirgi kunda respublikamizda 11 mingga yaqin quduqdan suv haydovchi nasos qurilmalari mavjud. Xalq xo'jaligi tarmoqlarining esv nasoslariga bo'lgan

talabini qondirish uchun hozirgi vaqtda suvmash zavodi esv turdagi quyidagi nasoslarni ishlab chiqarmoqda: ЭҚБ 8 – 16 – 160; ЭҚБ 8 – 25 – 100; ЭҚБ 8 – 40 – 60; ЭҚБ 10 – 120 – 80; ЭҚБ 10 – 120 – 55; ЭҚБ 10 – 120 – 30; ЭҚБ 10 – 160 – 35; ЭҚБ 10 – 100 – 15; ЭҚБ 12 – 255 – 30.

Ushbu nasoslarning yig‘ma grafigi, turlari, texnik va ishchi xarakteristikalari ilovada, tamg‘aga oid belgilari esa birinchi bo‘limda keltirilgan.

7.2.8. Yirik markazdan qochma vertikal nasoslar.

Markazdan qochma vertikal nasoslar (v (B) – vertikal turdagi) , yopishqoqligi va ximik aktivligi suvga o‘xshash hamda tarkibida 0,3 foizdan ko‘p bo‘lmagan 0,1 mm li mexanik zarrachalar mavjud bo‘lgan 35⁰ C temperaturali suv va boshqa suyuqliklarni ko‘tarib berishga mo‘ljallangan. Ularning sarfi – $Q = 1 - 35 \text{ m}^3/\text{s}$, bosimi – $N = 15 - 110 \text{ m}$ va FIK - $\eta = 90$ foizgacha bo‘lishi mumkin. Bu turdagi nasosning asosiy qismlari va uzellari 7.17- rasmda keltirilgan.

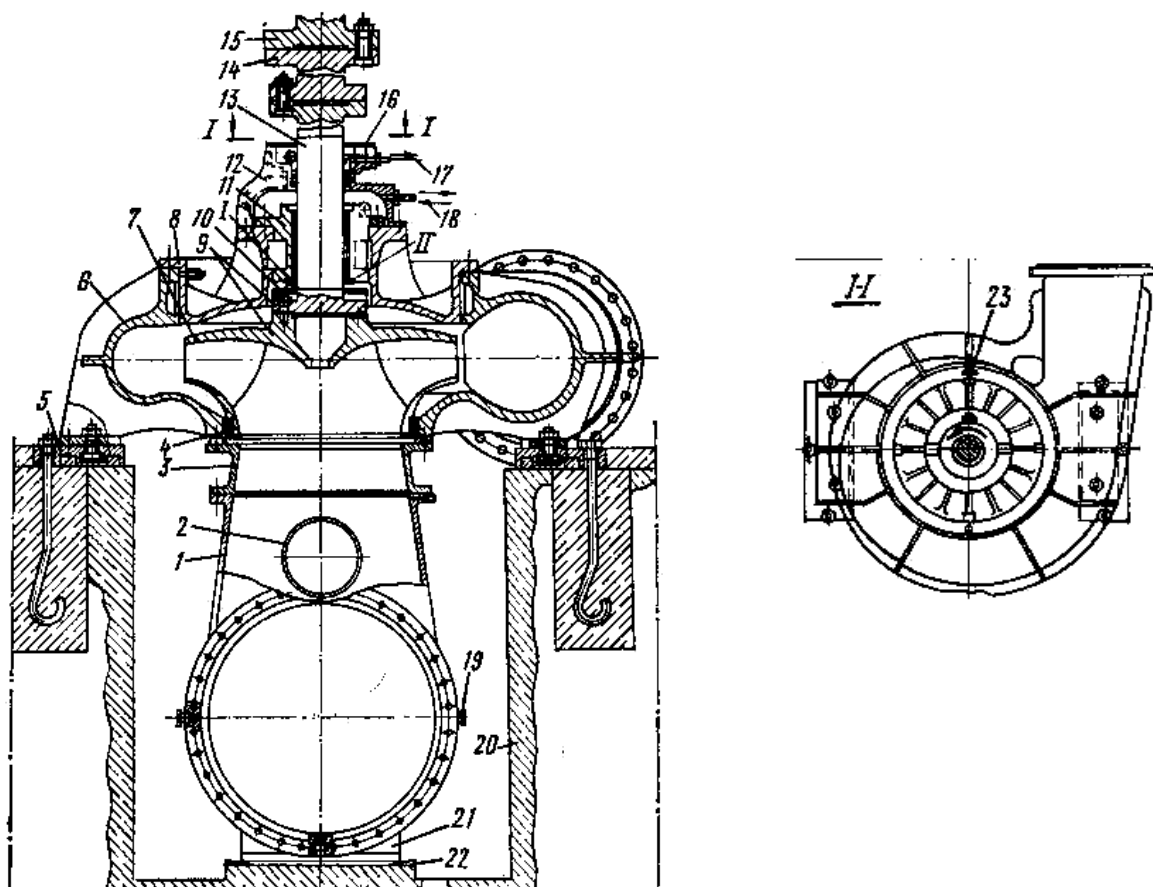
Ushbu nasoslarda, ish g‘ildiragi aylanishidan hosil bo‘layotgan o‘qiy gidravlik kuchni va aylanayotgan qismlari massasidan hosil bo‘ladigan gravitasion kuchlarni, nasosdan yuqorida joylashgan vertikal elektrodvigatelning tovonlari qabo‘l qiladi. Nasosning vali – 13, elektrodvigatel’ vali bilan val – **pristavkalar** yordamida ulanadi. Val– pristavkaning uzunligi 3 m dan ortiq bo‘lganda, nasos stansiyasi binosining pol to‘siniga, nasos transmission valining radial sirg‘anishi va qiyshayishini oldini oluvchi radial podshipniklar o‘rnatiladi. Valning radial tayanch sifatida, vkladishlari lignofol materialidan (maxsus tarkibli, suyuqlik shimdirilgan, zichlangan yog‘och) tayyorlangan, sirpanish podshipniklari – 11 xizmat qiladi. Podshipniklar, ko‘tarib berilayotgan suv bilan, yoki bosim ostida, podshipniklar va sal‘nik uzeli – 12 orasidagi bo‘shlik orqali uzatilayotgan maxsus tozalangan suv bilan ho‘llab turiladi. Harakatga yuqoridan qaralganda, val, soat miliga teskari aylanayotgani ko‘rinadi. Suv, so‘rish patrubkasiga pastdan kirib keladi.

Kamerali turdagi nasos stansiyasi binolarida, nasosga, zadviyka bilan jihozlangan, tirsaksimon po‘lat so‘rish quvuri ulanadi. Nasos, binoning beton asosiga mahkamlanadigan, ustunsimon poydevorga o‘rnatiladi. So‘rish quvuri va zadviyka ochiq xonada joylashgani uchun, ularga xizmat ko‘rsatish juda qulay bo‘ladi.

Blokli turdagi nasos stansiyasi binolarida, so‘rish quvuri zadviykasiz, og‘ir asosga, yaxlit bir butun qilib betonlanadi. So‘rish quvuriga, nasosning so‘rish patrubkasi mahkamlanadi.

Vertikal markazdan qochma nasoslarning asosiy afzalliklari – planda kichik o‘lchamli bo‘lib joylashishi va ularni yig‘ishning qulayligi. Bu afzalliklari katta nasos stansiyalarini qurishda va ekspluatasiya qilishda juda muhimdir.

Ushbu nasoslarning yig‘ma grafigi, turlari, texnik va ishchi harakteristikalari - ilovada, tamg‘aga oid belgilari esa birinchi bo‘limda keltirilgan. Bundan tashqari, ushbu nasoslarning markasi oxirida, I yoki II sonlari, A, O va M harflari qo‘yilgan. Bo‘lar: I yoki II – ish g‘ildiraklari yo‘nilgan; A – ish g‘ildiragi, bazaviy (asosiy) ish g‘ildiragidan farq qiladi; O – ish g‘ildiragining aylanishlari soni, nominal aylanishlar sonidan farq qiladi; M – nasos agregati tarkibiga, ikki tezlikli dvigatel’ ham kiradi.



7.17-rasm. Markazdan kochma vertikal nasosning konstruksiyasi.

1-olib keluvchi tirsak; 2-kuzatish tuynugi; 3-so'rish patrulkasi; 4-himoya-zichlash halqasi; 5-poydevor plitasi; 6, 13-nasosning korpus va vali; 7-ish g'ildiragi; 8-qopqoq; 9-valga g'ildirakning mahkamlanishi; 10, 16-korjuxlar; 10, 12-sal'nikli va sirpanish podshipniklarining uzellari; 14-val-prostavka; 15-elektro-dvigatelning vali; 17-sal'nikdan suvni olib ketish; 18-podshipnik-dan suvni olib ketish va unga suv olib kelish; 19-tiqin; 20-poydevor; 21-kronshteyn-taglik; 22-yig'ish ponasi; 23-bolt.

V (B) turdagi nasoslarni birinchi kapital ta'mirlash reso'rsi 20 ming soatni, buzilmasdan o'rtacha ishlash vaqti esa, 4 ming soatni tashkil qiladi. Vertikal nasoslar sug'orish, zax qochirish va ichimlik suvi ta'minoti nasos stansiyalarida keng qo'llaniladi. Respublikamizdagi Amu-Buxoro magistral kanallari nasos stansiyalari, Jizzax nasos stansiyalari va boshqalarda eng o'lgan markazdan qochma vertikal nasoslar qo'llanilmoqda.

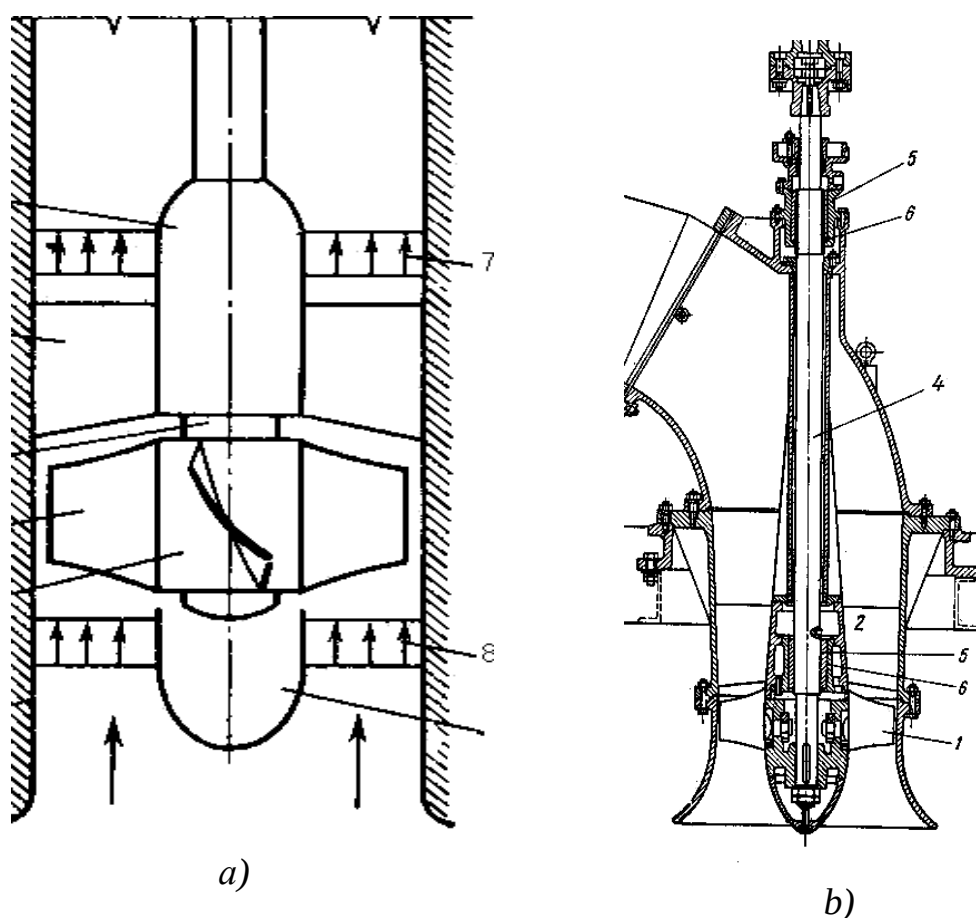
7.2.9. O'qiy nasoslar

O'qiy nasoslar, parrakli nasoslar sinfiga mansubdir. Suyuqlik, nasosning o'qi bo'ylab harakat qilgani uchun, parrakli nasoslarning bu turi, o'qiy nasoslar nomini olgan (rasm 7.18) . Ish g'ildiragiga-2 kirishda va to'g'rilovchi apparatdan-5 chiqishda, suyuqlik harakatining yo'nalishi, val o'qining aylanishi yo'nalishiga mos keladi. 3-sxemada o'qiy nasoslarning klassifikatsiyasi, 2.15-rasmda esa, ularni o'rnatish sxemasi keltirilgan.

O'qiy nasoslar ikki xil turda ishlab chiqariladi: O (osevoy- o'qiy, parraklari ish g'ildiragi vtulkasiga qo'zg'olmas qilib mahkamlangan) va ОП (осевой с

поворотными лопастями – parraklari, ish g‘ildiragi vtulkasiga, O‘z o‘qi atrofida aylanib buraladigan qilib mahkamlangan) .

Oddiy O turdagi nasoslar, 870 mm dan kichik diametrlar bilan tayyorlansa, OII turdagi nasoslar esa, 870 mm va undan kata ish g‘ildiragi diametrlari bilan tayyorlanadi. Hamdo‘stlik mamlakatlarida, suv ko‘tarib berish uchun, o‘qiy nasoslarning OPIB va OPIIB turlardagi monoblokli (dvigatel va nasos bir valga joylashtirilib, bir butun uzelni tashkil qiladi) variantlari ham tayyorlanadi. bunda: O - (osevoy) o‘qiy; II - (pogrujnoy) cho‘ktiriladigan; B - (vodyanoy) suvga mo‘ljallangan; M - monoblokli. Bu nasoslarning ish g‘ildiragi parraklari, ko‘zg‘olmas qilib o‘rnatilgan bo‘lib, ular suvga cho‘ktirilgan holatda ishlaydilar. Ularni o‘rnatish uchun, maxsus nasos stansiyasi turi bo‘lishi shart emas. O‘qiy nasoslar, vertikal (OB va OPIB turdagi) hamda gorizontal (OIГ yoki OPIГ turlari) bo‘lishi mumkin.



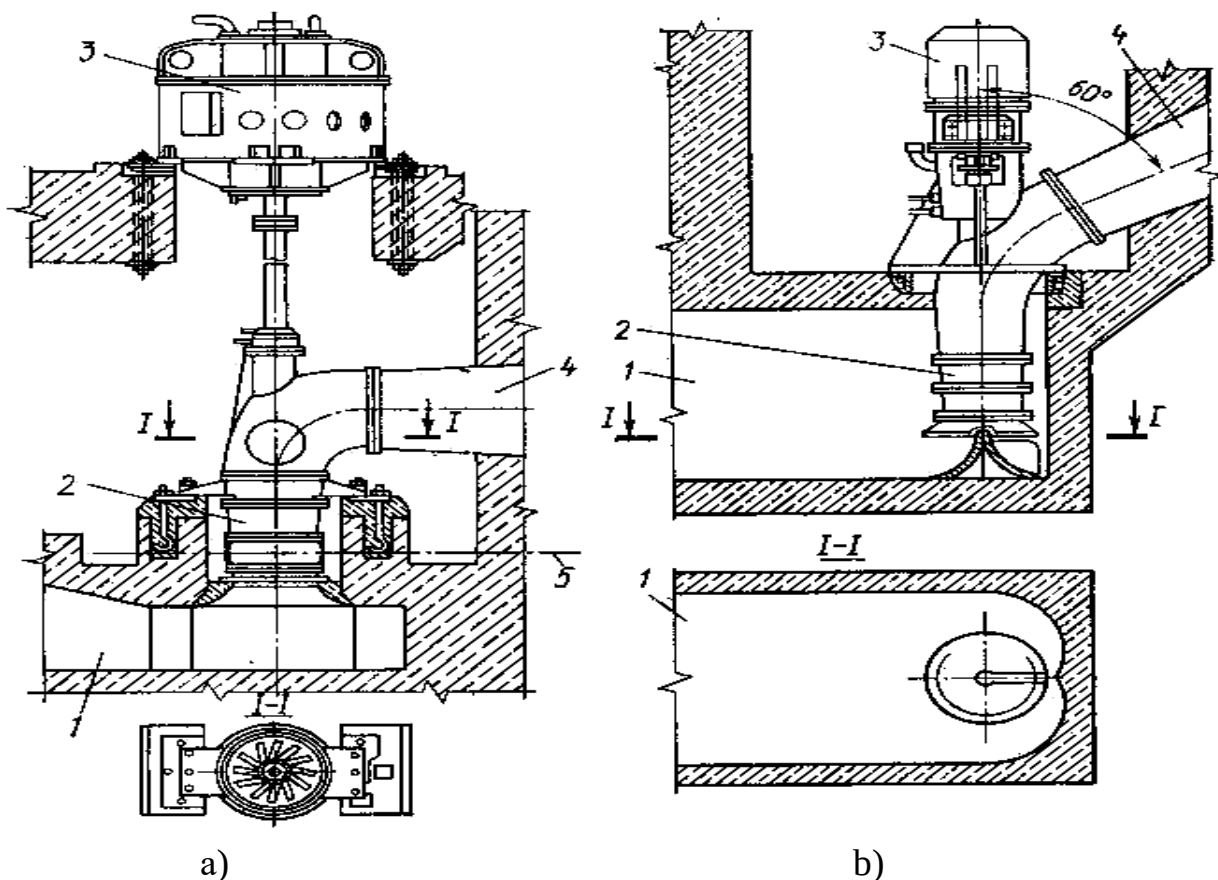
7.18-rasm. O‘qiy nasoslarning sxemasi va konstruksiyasi.

a-o‘qiy nasoslarning sxemasi: 1, 6 –nasos va podshipniklar uzelines korpusi; 2 –ish g‘ildiragi; 3 –ish g‘ildiragining parragi; 4 –val; 5 –to‘g‘rilovchi apparat; 7, 8 –ish g‘ildiragiga kirishda va to‘g‘rilovchi apparatdan chiqishda tezlik epyuralari; 9 –suyri shaklidagi oqib utuvchi;
b-o‘qiy nasoslarning konstruksiyasi: 1-ish g‘ildiragi; 2-to‘g‘rilovchi apparat; 3-olib ketuvchi; 4 –val; 5 –podshipnik vkladishlari; 6 –podshipnik; 7 – mufta.

Umumiy vazifalarini bajaruvchi O va OII turdagi nasoslar, tarkibida diametri 0,1 mm gacha va 0,3 foizdan ko‘p bo‘lmagan loyqali hamda temperaturasi 35⁰ C gacha bo‘lgan suvlarni ko‘tarib berishga mo‘ljallangan. Maxsus buyurtma bilan, nasoslarni tayyorlovchi zavodlar, yuqori temperaturali va agressiv hamda tarkibida

ko'p miqdorda loyqa bo'lgan suyuqliklarda ishlaydigan nasoslarni tayyorlab berishi mumkin.

O'qiy nasoslarning namunaviy ish g'ildiraklari, bir necha andazada tayyorlanadi. Bundan tashqari, nasoslar, ularning markasida belgilangan quyidagi harflar bilan ham, turlarga ajratiladi: K – (с камерным подводом) kamerali uzatish bilan; KЭ – kamerali suv uzatiluvchi va elektrodvigatel yordamida parraklari buraluvchi; МК – (малогабаритный с камерным подводом) kichik gabaritli kamerali suv uzatiluvchi (rasm 7.18 a) ; МКЭ – kichik gabaritli kamerali suv uzatiluvchi va elektrodvigatel yordamida parraklari buraluvchi; МВ – monoblokli (rasm 7.18b) ; ЭГ – parraklari elektrodvigatel' bilan buraladigan; МБК – monoblokli kamerali uzatish bilan. Zarur bo'lganda, nasosning markasida uni qanday iqlimda ishlashi va qanday turdagi nasos stansiyasi binosiga o'rnatilishi ham ko'rsatilishi mumkin.



7.19-rasm. O'qiy nasoslarni o'rnatish sxemasi.

a–kamerali suv uzatiluvchi kichik gabaritli o'qiy nasos; b–monoblokli o'qiy nasos. 1 –kamerali suv uzatish; 2 –nasos; 3 –elektrodvigatel'; 4 – diffuzorli olib ketuvchi; 5 –ish g'ildiragi o'qi.

O'qiy nasosning ish g'ildiragi vtulkadan va unga mahkamlangan yonlab tekislangan parraklardan iborat. Ish g'ildiragidagi parraklar soni, 3-6 donagacha bo'lishi mumkin. Vtulka ichiga, richaglar va krestovinalardan tashkil topgan parraklarni burash mexanizmi joylashtirilgan. Burash mexanizmining o'q bo'ylab siljishi natijasida richaglar va parraklar ham buraladi.

O'qiy nasos ish g'ildiragining shakli, parrakli g'ildiraklarning umumiy qatoridagi oxirgisi hisoblanadi. Shuning uchun, g'ildirak, manfiy so'rish balandligi bilan ishlaydi, ya'ni ish g'ildiragiga suyuqlikni kelishi uchun, so'rish bosimi, atmosfera bosimidan yuqori bo'lishi kerak. Buning uchun, nasos ish g'ildiragi

o'qining sathi, manbadagi hisob suv sathidan, talab qilingan miqdorda, ya'ni kavitasiya zaxirasiga teng kattalikda pastga o'rnatiladi. Ish g'ildiragi o'qi sathini yuqoriga ko'tarish, kameralar va g'ildirak parraklarini emirilishiga sabab bo'luvchi, kavitasiya jarayoniga olib keladi. Hozirgi vaqtda, o'zi so'ruvchi o'qiy nasoslar ham yaratilmoqda.

Bugungi kunda, hamdo'stlik mamlakatlarining nasos ishlab chiqaruvchi korxonalarida, sarfi – $Q = 0,5-40 \text{ m}^3/\text{s}$, bosimi – $H = 2,5-23 \text{ m}$ va FIKi - $\eta = 84-86$ foizli nasoslar ishlab chiqarilmoqda.

O va OPI turdagi nasoslarning vali – po'latdan, ish g'ildiragi vtulkasi po'latdan, ish g'ildiragi parraklari – zanglamaydigan po'latdan, ish kamerasi po'latdan, to'g'rilovchi apparat joylashadigan diffuzor – cho'yandan, olib ketgich – kavsharlangan po'latdan, podshipniklarning vkladishlari – rezina bilan qoplangan po'latdan tayyorlanadi. ishlash sharoitiga qarab, nasosning qismlari, boshqa materiallardan ham tayyorlanishi mumkin. Eyilishini kamaytirish uchun, valning sheykasi, zanglamaydigan po'latdan eritib tayyorlanadi.

O'qiy nasoslarning birinchi kapital ta'mirlashgacha bo'lgan reso'rsi, 17500 soatni tashkil qiladi (albatta, tez ishdan chiquvchi tiqinlar va podshipniklar almashtirilib turiladi) .

O'qiy nasoslar, markazdan qochma nasoslarga nisbatan, quyidagi bir qator afzalliklarga ega: FIKi yuqoriroq; birlik suv sarfiga nisbatan massasi kichikroq; xarakteristikalarini oson o'zgartirish mumkin.

O'qiy nasoslarning suv sarfi katta bo'lgani uchun, ularni, uncha yuqorida joylashmagan katta ekin maydonlarini sug'orishda, ulkan irrigasiya kanallariga hamda, issiqlik elektrostansiyalarini sovutish uchun suv ko'tarib berishda va boshqa maqsadlarda qo'llanilmoqda. Bu turdagi nasoslar, respublikamizdagi qarshi nasos stansiyalari kaskadi va boshqa ulkan nasos stansiyalarida foydalanilmoqda.

Ushbu nasoslarning yig'ma grafigi, turlari, texnik va ishchi xarakteristikalari - ilovada, tamg'aga oid belgilari esa birinchi bo'limda keltirilgan.

Parraklari qo'zg'almas o'qiy nasoslar

O (осевой – o'qiy) turdagi nasoslarga suyuqlik, kameralar orqali uzatildi. Manbadagi suv sathi, doimo parraklarning aylanish o'qidan yuqori bo'lishi kerak. O'ziga kerakli xarakteristikalarni olish uchun, parraklarning o'rnatish burchagi, buyurtmachi tomonidan beriladi. 7.19 – rasmda, kamerali suv uzatiluvchi OB (osevoy vertikal – O'qiy vertikal) turdagi parraklari ko'zg'olmas o'qiy nasosning konstruksiyasi keltirilgan.

Suv, manbadan halqa -1 va so'rish to'g'rilovchisi -2 orqali aylanayotgan ish g'ildiragi parraklariga kelib tushadi. Unda statik bosim oshadi, ish g'ildiragingining aylanish tomoniga qarab, tangensial tezlik hosil bo'ladi. To'g'rilovchi apparat -9, tangensial tezligini statik bosimiga aylantiradi va suv oqimini nasosning o'qiga parallel yo'naltiradi. So'ngra suv, diffuzor -14 orqali, oqimni 60° burchakka buruvchi olib ketgichga -16 tushadi. Olib ketgichning flanes bosimli quvur bilan ulangan val -15, ikki dona radial – tayanchlarga-pastgi -8 va yuqoridagi -17 podshipniklariga ega.

Lignofol va rezinali vkladish sirpanish podshipniklar, 50 mg/l dan kam loyqali suv bilan xo'llab turiladi. Agar suvning tarkibida loyqalar 50 mg/l dan ko'p bo'lsa, u dastlab tozalanadi, so'ngra, nasosning bosimidan $7...10 \text{ m}$ dan ortiqroq

bosim ostida podshipniklarga uzatiladi. Har bir podshipnikni xo'llash uchun quyidagi suv sarflari xo'llaniladi: ish g'ildiragining diametri 1100 *mm* gacha bo'lganda -0,5 l/s; diametri 1450-1850 *mm* oralikda bo'lsa -10 l/s; diametri 2600 *mm* gacha bo'lganda esa -2 l/s. Nasos ishga tushirilganda pastgi podshipnikni suv bilan to'ldirilgan bo'lishi kerak. Yuqoridagi podshipnikka (agar u suv bilan to'ldirilgan bo'lmasa) suv maxsus nasos bilan uzatiladi. Nasosdan suvni siriqib oqishini sal'nik uzeli -18 bartaraf kiladi. Valdan tushayotgan o'qiy zo'riqishlarni elektrodvigatelning tovonlari qabo'l qiladi. Yuqoridan qaraganda, elektrodvigatel soat miliga teskari aylanadi.

Hamdo'stlik mamlakatlari sanoatida, o'qiy vertikal nasoslarning monoblokli variantlari ishlab chiqariladi. Bu variantda, nasoslar – suvli kamera, elektrodvigatel – quruq xonaga, ularni ulash uzeli esa, yuqoridagi xonaning poliga joylashtiriladi. O turdagi nasoslarning gorizontal qilib tayyorlanganlarini, manbadagi suv satxidan yuqoriga ham o'rnatish mumkin, ular suvni, sifonli so'rish quvuri orqali olinadi.

Parraklari buraladigan o'qiy nasoslar

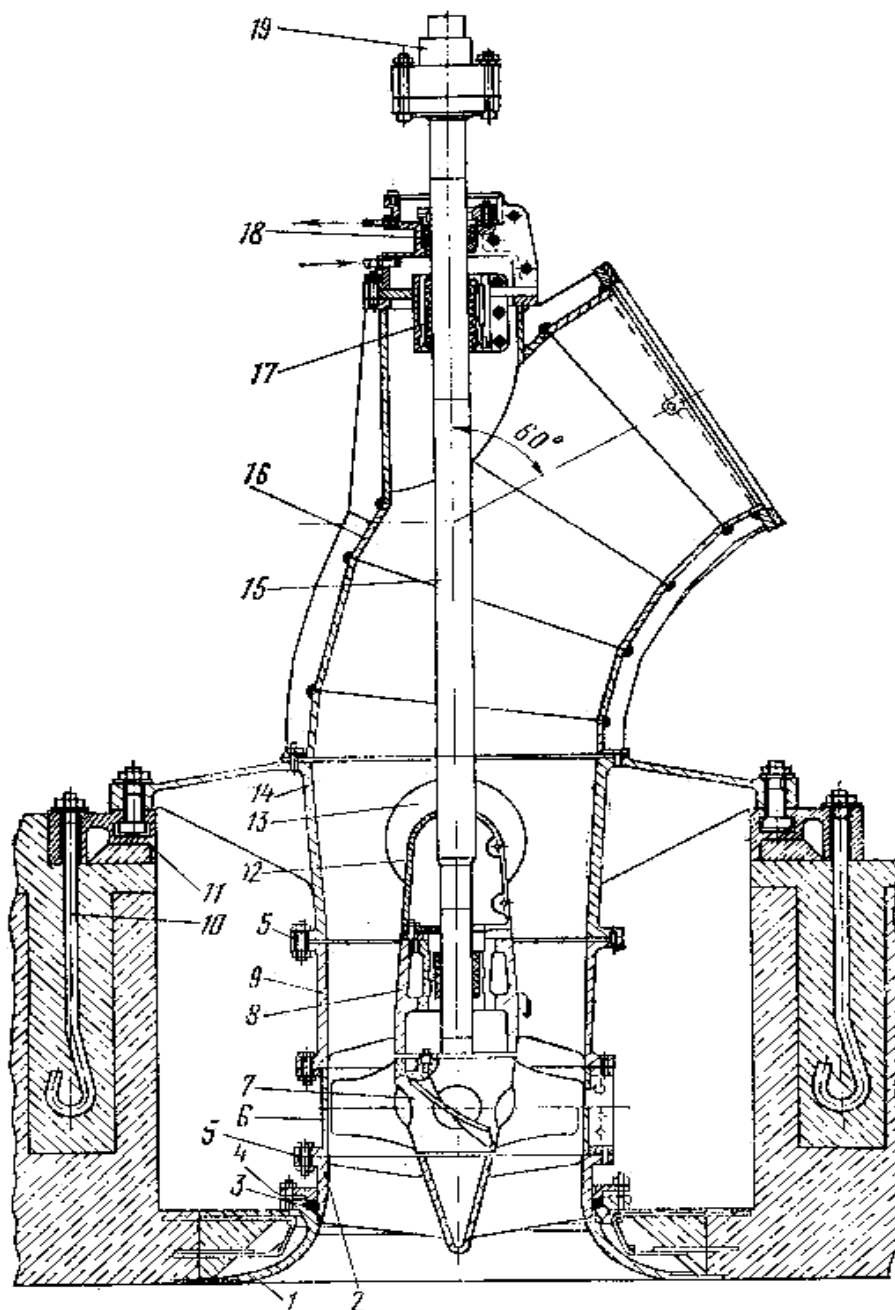
ОП (осевой с поворотными лопастями – parraklari buriladigan o'qiy) turdagi nasoslar, O turdagi nasoslardan, katta o'lchamlari va sarfi bilan keskin farq qiladi. Parraklarni o'rnatish burchagini, mos holda, nasosning xarakteristikalarini, ekspluatasiya qilish davrida, hattoki nasos agregatini to'xtamasdan amalga oshirish mumkin. Ish g'ildiragi diametrlari 1100 *mm* gacha bo'lgan nasoslarga, kamerali va tirsakli konstruksiyalar orqali suv olib kelinadi. Diametri katta ish g'ildirakli nasoslarga, suv uzatish uchun esa, faqatgina tirsakli konstruksiyalar qo'llaniladi. Diametrlari 1100 *mm*.li g'ildiraklarining parraklari, elektromexaniq uzatmalar (elektrouzatmalar) yordamida, diametrlari 850 va 2600 *mm*.li ish g'ildiraklarida – elektro-gidromexaniq (elektrogidrouzatmalar) yordamida, 1450 *mm* li ish g'ildiragi parraklari – elektrouzatmalar va elektrogidrouzatmalar yordamida buraladi.

7.20 – rasmda, parraklari buraladigan elektr uzatmali o'qiy nasosning konstruksiyasi keltirilgan. Ish g'ildiragi diametri 1850 *mm* dan kichik bo'lgan ОП turdagi nasoslar, poydevor tumbasiga ikkala panjasi bilan, diametrlari 1850 *mm*.li ish g'ildirakli nasoslar – oraliq to'singa tayanch flaneslari bilan, ish g'ildiragi diametrlari 2600 *mm* bo'lgan nasoslar esa, beton poydevorga betonlab mahkamlanadi.

ОП turdagi nasosning vali, vtulkasi, ishchi kamerasi, olib ketish qismi, ish g'ildiragi parraklari-po'latdan, to'g'rilovchi apparat joylashtirilgan difuzor-cho'yandan, podshipnik vkladishlari – rezina bilan qoplangan po'latdan tayyorlanadi.

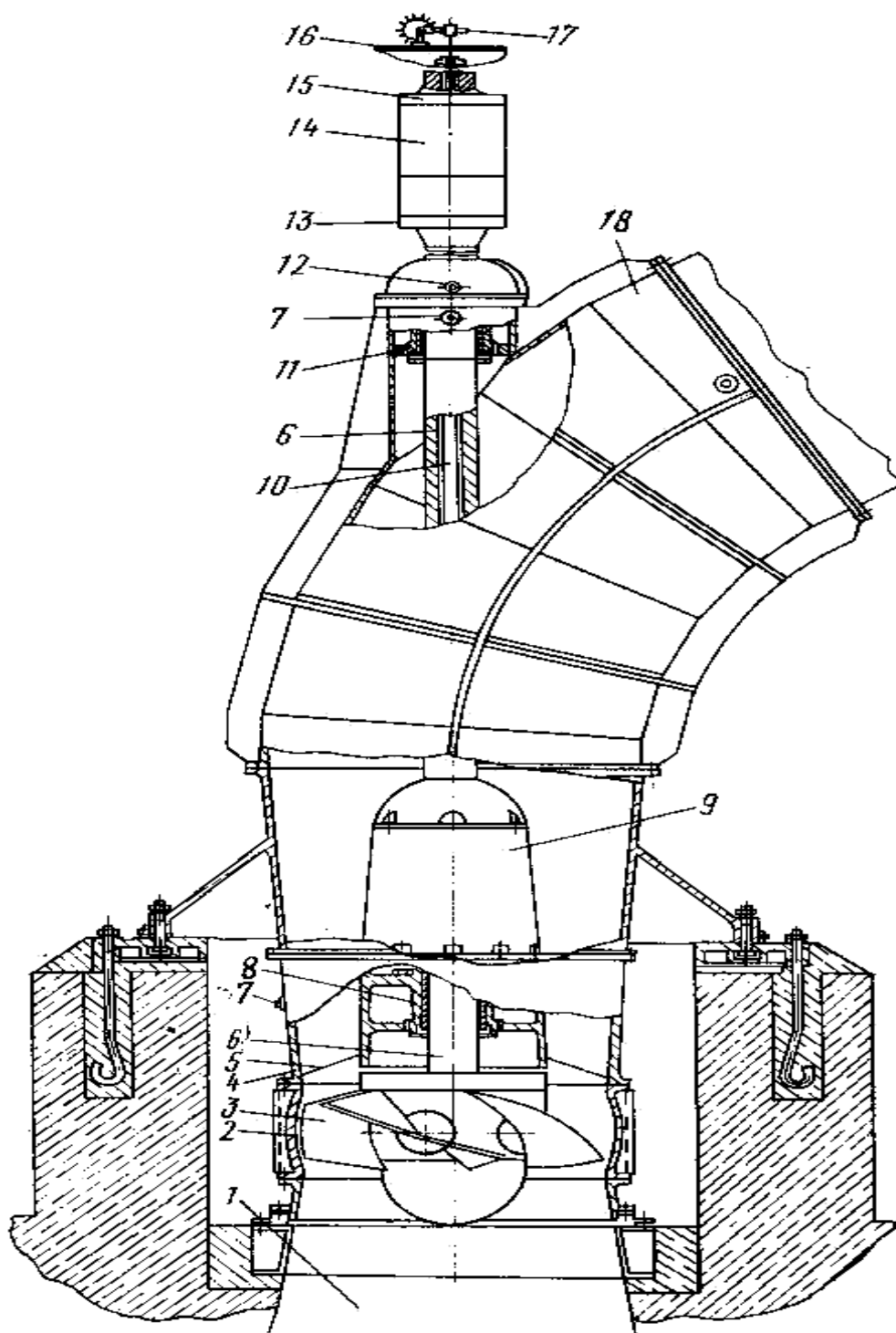
ОП turdagi nasoslar, O turdagi nasoslardan, katta o'lchamlari va suyuqlik sarfi bilan farq qiladi. Parraklarni o'rnatish burchagini, mos holda, nasosning xarakteristikalarini, ekspluatasiya qilish davrida, hattoki nasos agregatini to'xtamasdan amalga oshirish mumkin. Ish g'ildiragi diametrlari 1100 *mm* gacha bo'lgan nasoslarga, kamerali va tirsakli konstruksiyalar orqali suv olib kelinadi. diametri katta ish g'ildirakli nasoslarga, suv uzatish uchun esa, faqatgina tirsakli konstruksiyalar qo'llaniladi.

Ushbu turdagi nasoslar, respublikamizning Amu-Buxoro, Karshi magistral kanallaridagi nasos stansiyalarida hamda Jizzax, So'rxondaryo va boshka viloyatlardagi katta nasos stansiyalarida qo'llanilmoqda.



7.20-rasm. Kamerali suv uzatiluvchi, kichik gabaritli, parraklari qoʻzgʻolmas oʻqiy nasosning konstruksiyasi.

1 –oʻrnatish halqasi; 2 –suyrili toʻgʻrilagich; 3 –rezina shnur; 4 –qopqoq; 5 –press-shpanli qistirma; 6, 15 –nasosning korpusi va vali; 7 –ish gʻildiragi; 8, 17 –pastki va yuqoridagi podshipniklar; 9 –korpus, toʻgʻrilovchi apparat bilan; 10 –bolt; 11 –tayanch ramasi; 12 –suyri oqib oʻtuvchi; 13 –kuzatish tuynugi; 14 –diffuzor, nasosni mahkamlash panjalari bilan; 16 –olib ketuvchi; 18 –salʼnikli uzal; 19 –elektrodvigatelning vali;



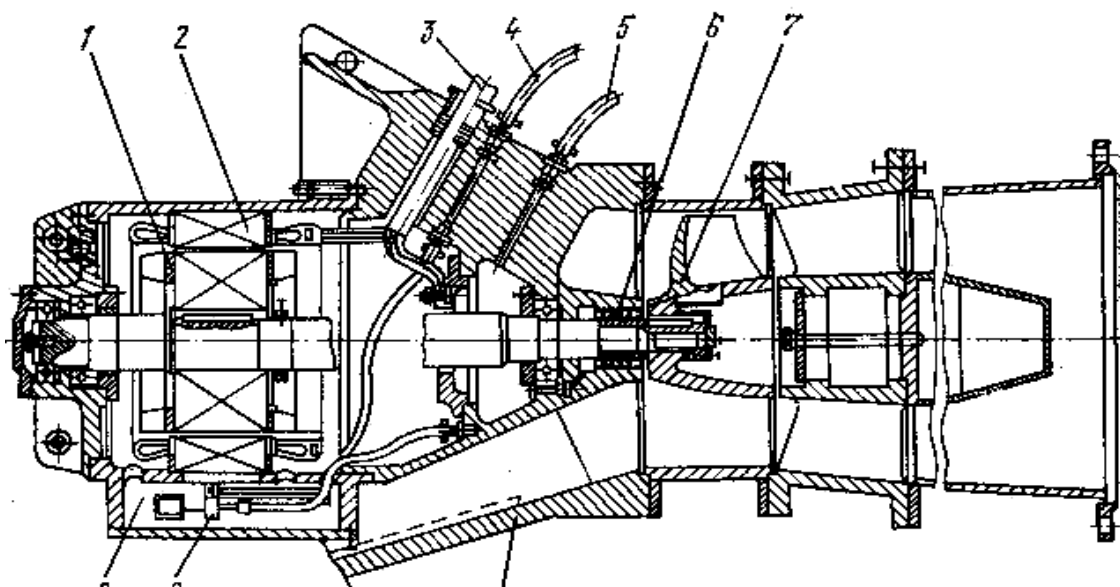
7.21-rasm. Parraklari buriladigan o'qiy nasosning konstruksiyasi.

1–tirsaksimon so‘rish quvuri; 2, 3–ish kamerasi va g‘ildiragi; 4–korpus, to‘g‘rilovchi apparat bilan; 5–to‘g‘rilovchi apparatning parraklari; 6 –val; 7–podship-nikka toza suv olib kelish; 8, 11–yuqoridagi va pastgi podshipniklar; 9–suyri-simon oqib o‘tuvchi; 10 –shtok; 12 –drenaj suvini olib ketish; 13, 15–nasos vali va elektrodvigatelni ulovchi flanslar; 14, 16–elektrodvigatelning korpusi va qopqog‘i; 17 –sil’sin-datchik, 18 –tirsak;

7.2.10. Cho'ktiriladigan monoblokli o'qiy nasoslar.

OPIB va OMPIB turdagi nasoslar, elektrodvigatel bilan bir butun agregatni tashkil qiladi. bunda: O – (osevoy) o'qiy, M –monoblokli, II - (pogrujnoy) cho'ktiriladigan, B – (vodyanoy) suvga mo'ljallangan. Elektrodvigatel, nasosning oldiga, «quruq» germetik korpusga o'rnatiladi. Zichlash uzeli -6, korpusga suv sizib o'tishini bartaraf qiladi. Suv yig'uvchiga -9, suv oqib o'tgani to'g'risida xabar beruvchi asbob o'rnatilgan. Yig'uvchidagi suv, shlang -5 orqali uzatilayotgan $0,003...0,05 MPa$ bosim ostida chiqarib yuboriladi. Rotor -1 va ish g'ildiragi -7 umumiy valga o'rnatilgan.

7.22 –rasmda, OPIB turdagi cho'ktiriladigan monoblokli o'qiy nasosning konstruksiyasi keltirilgan.

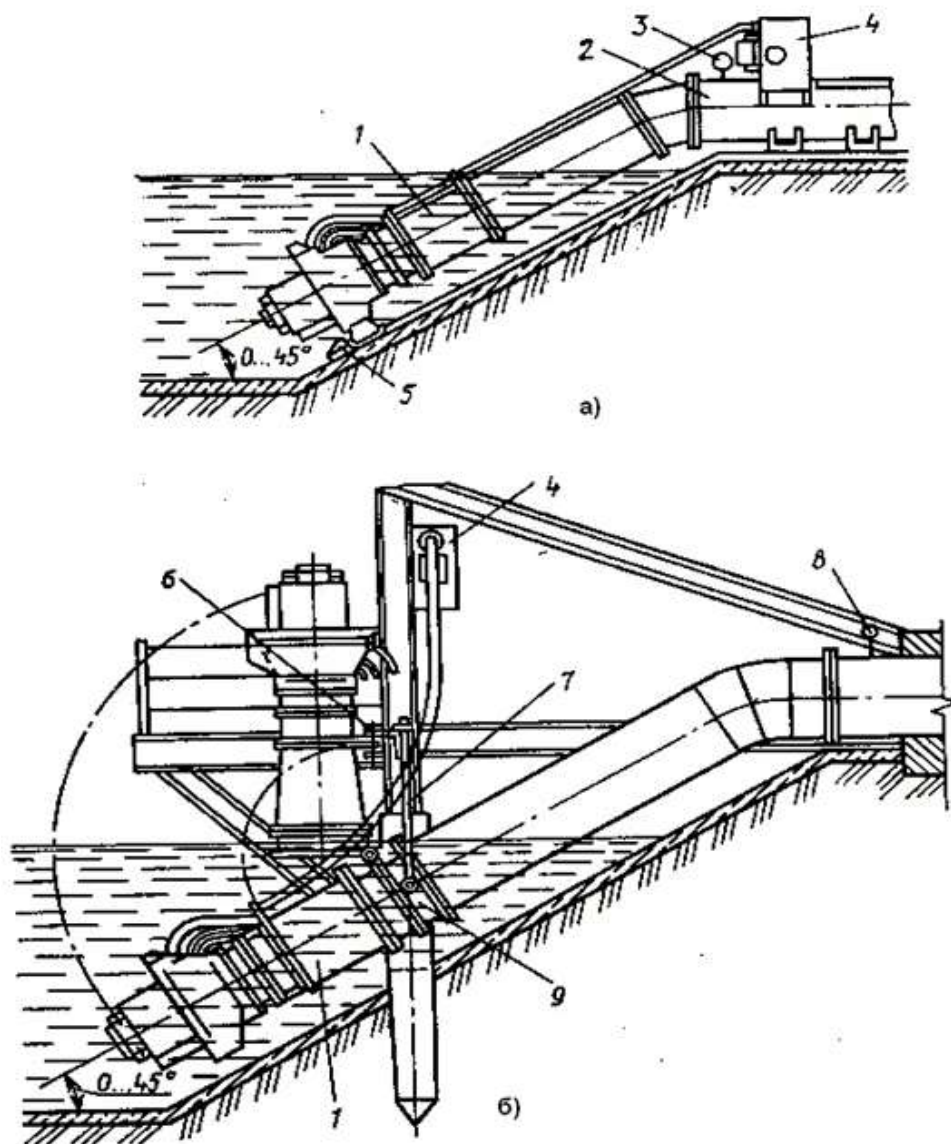


7.22-rasm. OPIB turdagi chuktiriladigan monoblokli o'qiy nasosning konstruksiyasi.

1 –elektrodvigatelning rotori; 2 –stator; 3 –elektr kuch kabeli; 4 – dvigateldan suvni tashlab yuborish; 5 –dvigatelga siqilgan havo uzatish; 6 -zichlash uzeli; 7 –ish g'ildiragi; 8 –suvni siriqib oqishini bildiruvchi datchik; 9 –suv yig'uvchi.

Suv sathi keskin o'zgarib turadigan manbalarda, ushbu nasos agregatlari chana va sharnirlarga o'rnatilib ekspluatasiya qilinadi (rasm 7.23 a, b) .

OMPIB turdagi nasoslar IQMPIB turdagi nasoslar bilan bir xil konstruksiyaga ega. Ammo, OPIB nasoslariga, markazdan qochma ish g'ildiragi o'rniga, o'qiy ish g'ildiraklari o'rnatilgan.



7.23-rasm. OIIB turdagi choʻktiriladigan monoblokli oʻqiy nasosni oʻrnatish sxemalari.

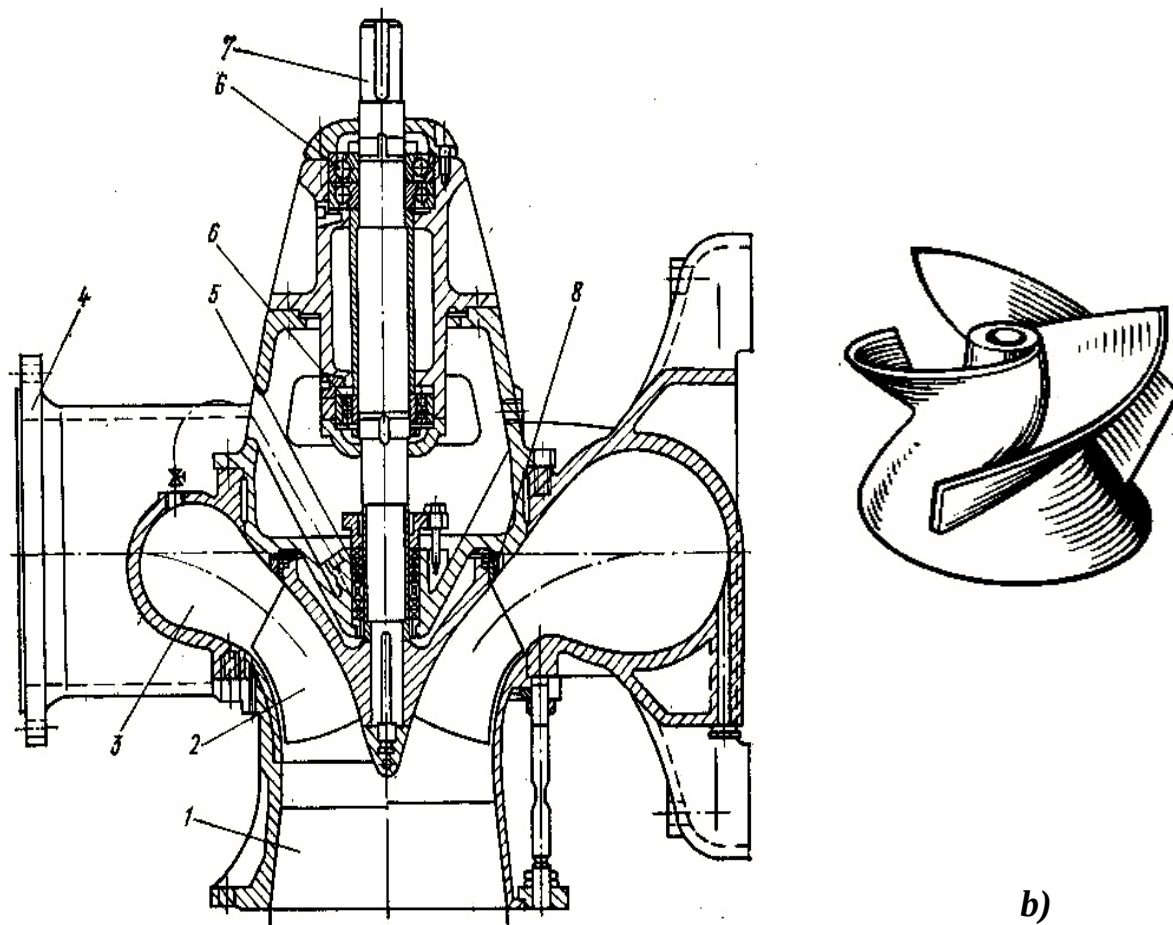
a–chanalarga; *b*–sharnirlarga: 1 –elektronasos; 2 –bosimli quvur; 3 –manometr;
4 –boshkaruv stansiyasi; 5 –tayanch; 6 –ilgak; 7 –tortqich; 8 –manometr; 9 –sharnir;

7.2.11. Diagonal nasoslar

Ish gʻildiragiga kirgan suyuqlik, nasos oʻqiga nisbatan burchak ostida diagonal boʻylab harakatlanadigan nasoslarga, diagonal nasoslar deyiladi. Konstruksiyasi boʻyicha ular, oʻqiy nasoslarga oʻxshash. diagonal nasoslarning ish gʻildiraklari, ochiq konussimon propeller yoki yopiq diagonal gʻildirak koʻrinishida bajariladi. Sarfi – Q , bosimi – H hamda FIK - η ga nisbatan, diagonal nasoslar, markazdan qochma va oʻqiy nasoslarning oʻrtasida turadi.

7.24, a-rasmda spiralsimon olib ketgichli diagonal nasosning konstruksiyasi keltirilgan. Suyuqlik, manbadan oʻq yoʻnalishi boʻyicha, soʻrish quvuri patrulkasi - 1 orqali ish gʻildiragiga - 2 tomon harakatlanadi. Ish gʻildiragida suyuqlik, valning - 1 aylanish oʻqiga nisbatan maʼlum burchakka (90^0 dan kichik) buraladi va aylanish oʻqiga nisbatan maʼlum burchakka (90^0 dan kichik) buraladi va spiralsimon olib ketichga - 3, soʻngra esa konussimon diffuzor orqali bosimli patrulkaga uzatiladi.

Diagonal nasoslarning ko'p qismlari konstruksiyasi, xuddi markazdan qochma va o'qiy nasoslarnikiga o'xshash. Ko'pincha ularning ish g'ildiragida, oldingi disk bo'lmaydi (rasm 7.24 b) . Olib ketish qurilmasi, nasos stansiyasi binosiga, nasoslarni joylashtirish uchun qulay sharoit yaratib beradigan spiralsimon olib ketishli qilib va oqimni to'g'rilovchi apparat bilan birga tayyorlanadi. Ishchi parraklari, buriladigan bo'lishi mumkin.



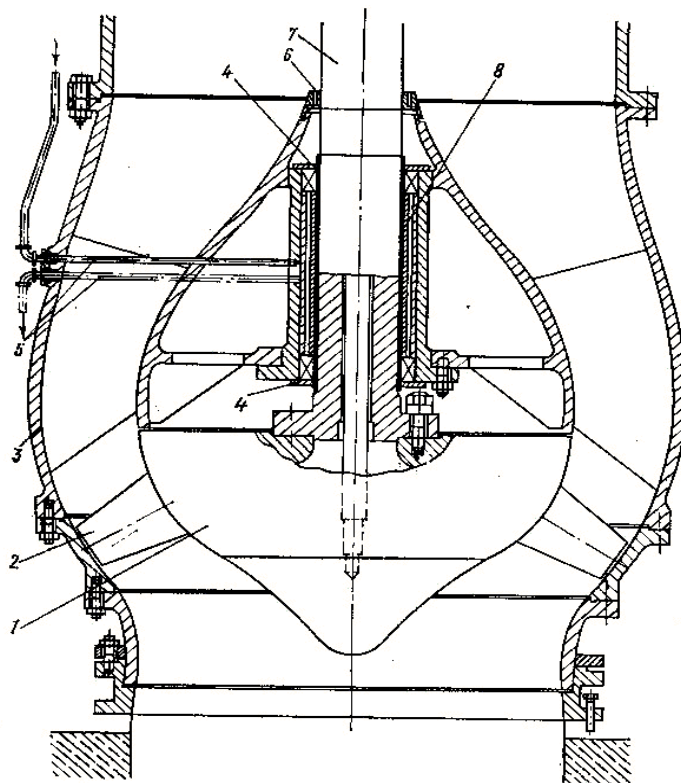
a)

b)

7.24-rasm. Spiralsimon olib ketgichli diagonal nasosning konstruksiyasi (a) va ochiq ko'rinishdagi oldingi disksiz ish g'ildiragi (b) .

1, 4—so'rish va bosim patrulkalari; 2—ish g'ildiragi; 3—spiralsimon olib ketgich; 5, 6—gidravlik zichlagich bilan sal'nikli va podshipnik uzellari; 7—val; 8—himoya—zichlash xalkasi;

Diagonal nasoslar, past bosimli ($H < 20 \text{ m}$) va urta bosimli ($H = 20 \dots 60 \text{ m}$) , bir boskichli (rasm 7.24, 7.25) va kup boskichli hamda gorizontaal va vertikal kilib tayyorlanadi. Kup boskichli diagonal nasoslar rasmda ko'rsatilgan.



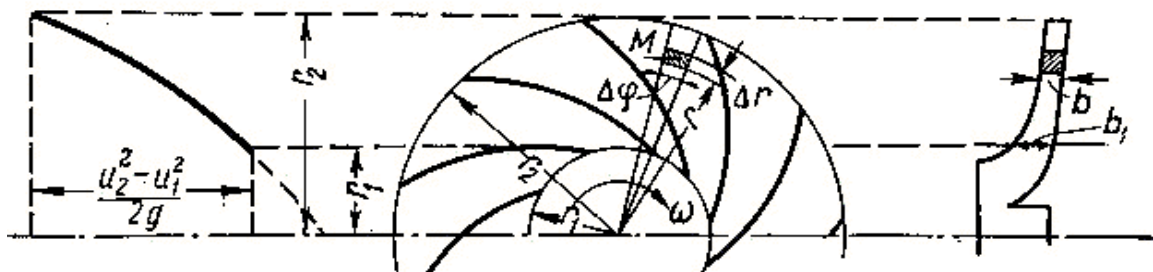
7.25-rasm. To'g'rilovchi apparatli diagonal nasosning konstruksiyasi.
 1, 2 –ish g'ildiragining vtulkasi va parraklari; 3 –to'g'rilovchi apparat; 4 –zichlagich;
 5 –moylovchi suyuqlikni uzatish va olib ketish quvurchasi; 6 – zichlash uzeli; 7 –val;
 8 –sirpanish podshipnigi;

7.3. PARRAKLI NASOSLAR NAZARIYASI

7.3.1. Markazdan kochma nasosni ishlashi

Bosimli quvurdagi zadvijskaning yopiq holatida markazdan qochma nasosning ishlashi

Zadvijska yopiq bo'lganda, ish g'ildiragi ariqchalarini to'ldirib turgan suv unga qo'shilib aylanadi. Shuning uchun aylanayotgan suv ish g'ildiragiga nisbatan harakatsizdir.



7.26-rasm. Markazdan qochma nasos ish g'ildiragining sxemasi va markazdan qochma kuchning harakati

Bu hodisani ko'rib chiqishda, ish g'ildiragi aylanganda o'zini o'rab turgan suv bilan ishqalanish hosil qilmaydi deb faraz qilamiz.

Ish g'ildiragiga qo'shilib aylanayotgan tomchi (M), (r) radiusli aylana chizadi va markazdan qochma kuch ta'sirida qo'shni qatlamlar orasida bosim oshib boradi.

(Δr) qalinlikdagi (M) tomchi, (v) qalinlikdagi g'ildirak gardishi va markaziy (Δφ) burchak tekisliklari bilan chegaralangan. Shunday qilib, (M) tomchining bosimi (ΔC), markazdan qochma kuchga tengdir.

$$\Delta C = m \frac{V_{ayl}^2}{r} = |V_{ayl} = r\omega_{bur}| = m \frac{r^2 \omega_{bur}^2}{r} = mr\omega_{bur}^2 =$$

$$= \left| m = \frac{G}{g} = \frac{W \cdot \gamma}{g} = \frac{r\Delta r \cdot \epsilon \cdot \Delta \phi \gamma}{g} \right| = \frac{r\Delta r \epsilon \Delta \phi \gamma}{g} r\omega_{bur}^2 \quad (7.30)$$

bunda: V_{ayl} – aylanma tezlik; ω – burchak tezlik; r – (M) tomchining radiusi; m – tomchining massasi; G – og'irlik; W – hajm; γ – solishtirma og'irlik.

Bu kuch bosim beradigan maydon

$$\Delta f = b (r = \Delta r) \Delta \phi = br\Delta \phi = b\Delta r\Delta \phi \quad (7.31)$$

$b\Delta r\Delta \phi$ – kichikligi sababli hisobga olmaymiz.

Shunday qilib solishtirma bosim,

$$\Delta P = \frac{\Delta C}{\Delta f} = \frac{\frac{r\Delta r b \Delta \phi \gamma}{g} r\omega_{bur}^2}{br\Delta \phi} = \frac{r\Delta r b \cancel{\Delta \phi} \gamma}{g \cancel{br} \cancel{\Delta \phi}} r\omega_{bur}^2 = \frac{\gamma \Delta r \omega_{bur}^2}{g}; \quad (7.32)$$

to'la markazdan qochma kuch.

$$P_{m.q.k.} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta P = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\gamma \Delta r \omega_{bur}^2}{g} = \frac{\gamma \omega_{bur}^2}{g} \int_{r_1}^{r_2} r \Delta r = \frac{\gamma W_{bur}^2}{g} \left(\frac{r_2^2 - r_1^2}{2} \right) =$$

$$= |rW = V_{ayl}| = \frac{\gamma (V_{2ayl}^2 - V_{1ayl}^2)}{2g}; \quad (7.33)$$

bundan bosim.

$$h_{m.k.} = \frac{P_{m.q.k.}}{\gamma} = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g}; \quad (7.34)$$

Shunday qilib:

1. Zadvijkaning yopiq holatida, nasos ichidagi bosim, ish g'ildiragi aylanish burchak tezligining kvadratiga proporsionaldir.

2. Markazdan qochma nasosning ish g'ildiragi zadvijkaning yopiq holatida ham ishlayveradi, ammo nasos korpusi va undagi suyuqlikning qizib ketishi natijasida termik deformasiya yuz berishi mumkin.

Shuning uchun zadvijka berk turganda nasosni uzoq ishlatish mumkin emas.

Bosimli quvurdagi zadvijkaning ochiq holatida markazdan qochma nasosning ishlashi

Bosimli quvurga o'rnatilgan zadvijka ochiq turganda, ish g'ildiragi ichidagi suyuqlik tomchilari o'rin almashib turadi. Bosimli quvurga chiqarilgan tomchilar o'rnini so'rish quvurlaridan kelayotgan yangi tomchilar egallaydi. Ish g'ildiragi ichida hosil bo'lgan markazdan qochma kuch, faqat bosim hosil qilmasdan, balki ish g'ildiragidan chiqib ketayotgan suyuqlikka kinetik energiya ham beradi.

Endi oddiy oqim (M_1, M_2) ning markazdan (r) masofada yotgan bir tomchisi (M) ni qaraymiz (rasm – 7.27) .

(M) tomchi, markazdan ish g'ildiraklari parraklari bo'ylab olib ketish kanaliga tomon harakat kiladi. (M) tomchining ish g'ildiragi parraklariga nisbatan qilgan harakatiga nisbiy harakat tezligi deyiladi (W) .

(M) tomchi, ish g'ildiragiga qo'shilib aylanma harakatda ham ishtirok etadi. Bu harakat aylanma yoki ko'chirilgan harakat tezligi (U) deyiladi.

(M) tomchining absolyut harakat tezligini topish uchun nisbiy va ko'chirilgan harakat tezligi vektorlarni qo'shamiz.

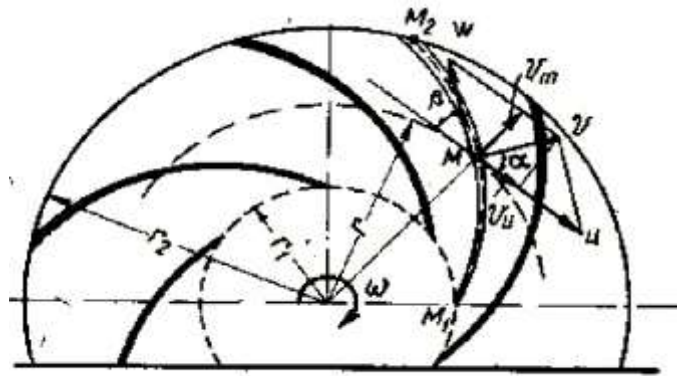
$$V = W = U \quad (7.35)$$

Absolyut harakat tezligini ikkita tashkil qiluvchilarga bo'lib, quyidagilarni topamiz.

$$V_u = V \cos \alpha \quad (7.36)$$

$$V_r = V_m = V \sin \alpha \quad (7.37)$$

bunda: V_u – tangensial tezlik; V_r – meridional tezlik.



7.27-rasm. Suyuqlik tomchilarining markazdan qochma nasos ish g'ildiragidagi harakati

MVU uchburchagidan,

$$W^2 = U^2 + V^2 - 2UV \cos \alpha = U^2 + V^2 - 2V_u U \quad (7.38)$$

$$U = V_u = W \cos \beta = V_u = V_m \cotg \beta \quad (7.39)$$

$$\frac{V}{U} = \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad (7.40)$$

G'ildirak ichidagi suyuqlik bir-biriga o'xshash oddiy oqimlardan tashkil topgan degan farzni hisobga olsak, unda nasos ish g'ildiragidan o'tayotgan suv sarfi quyidagicha topiladi.

$$Q = 2 \pi r b V_m \quad (7.41)$$

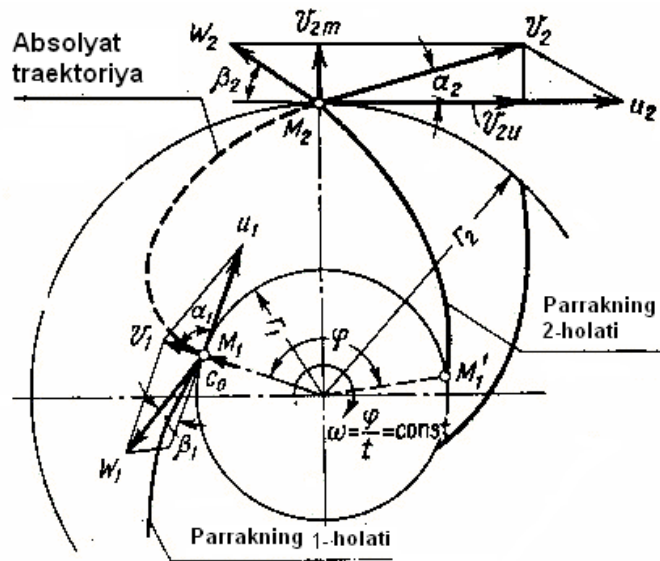
V_m – yuzasi, $2\pi r b$ ga teng oqim kesimiga normal tezlik.

Demak, zadvijkaning ochiq holatida nasos suvni yuqoriga ko'tarib beradi.

7.3.2. Markazdan qochma nasos ish g'ildiragiga suvning zarbsiz kirish va chiqish shartlari.

Tomchi (M) g'ildirak ariqchasiga kirishda (M_1) vaziyatda bo'lsin (rasm 7.28) . Tomchining shu nuqtadagi tezliklari: nisbiy tezligi – W_1 ; ko'chirilgan tezligi – V_1 dir. Tomchi ariqchalarda harakat qiladi va g'ildirakka qo'shilib yana aylanma

harakat ham qiladi. t vaqt o'tgandan so'ng M_1 nuqtadan M_2 nuqtaga keladi. Bu nuqta tezliklari: Nisbiy tezlik – W_2 ; ko'chirilagn tezlik – U_2 va absolyut tezliklar – U_2 dir. Absolyut tezlikni tashkil etuvchilari U_{2m} – meridional (radial) va U_{2u} – tangensial tezliklardir.



7.28-rasm. Markazdan qochma nasos ish g'ildiragi ichida oqimning absolyut va uni tashkil kiluvchi tezliklari harakatining sxemalari

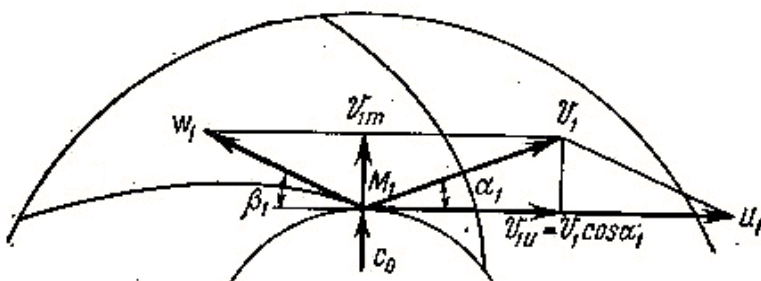
Tashqaridan turib kuzatganimizda (M) tomchini absolyut tezligi traektoriyasi $M_1 M_2$ ni ko'rishimiz mumkin.

Bu sxemada absolyut tezliklar V_1 va V_2 , $M_1 M_2$ traektoriyaga urinma bo'ladi. Nisbiy tezliklar W_1 va W_2 esa ariqchalar profiliga urinma bo'ladi. Ko'chirilgan tezlik U_1 kichik diskka, U_2 esa katta diskka urinma bo'ladi.

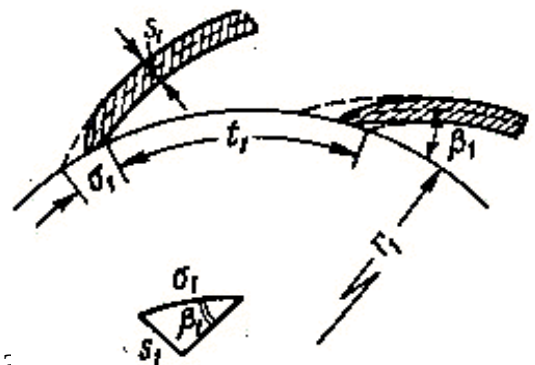
G'ildirakka suvni zarbsiz kirishi.

1 – shart. $\alpha_1 = 90^\circ$. Bu holda suv tomchilarini ariqchalar itarmaydi, balki o'ziga ergashtirib aylantira boshlaydi va asta-sekin bosimni oshirib boradi.

2 – shart. V_0 tezlikdan V_{1m} tezlikka o'tish bilan bog'liq bo'lgan bosim isrofi kichik bo'lishi kerak; buning uchun parraklarning kirish qismi ingichkaroq va dumaloqroq bo'lishi kerak (rasm 7.30) .



7.29-rasm. Ish g'ildiragiga kirishda tezliklarning bo'linishi.



Rasm 7.30 kanali va parraklarning kesimi.

Aslida, $\alpha_1 \neq 90^\circ$ bo'lganda (rasm 7.29) , tomchilarning g'ildirakka kirishida, ularning boshlang'ich meridional (radial) harakatidan chetga chiqishi kuzatiladi; bu

holatda $V_{1u} = V_1 \cos \alpha_1$ tezlik yo'qotilgan hisoblanadi. Bu chetga chiqish natijasida kirishda isrof bo'lgan bosim, mos holda, quyidagiga teng bo'ladi:

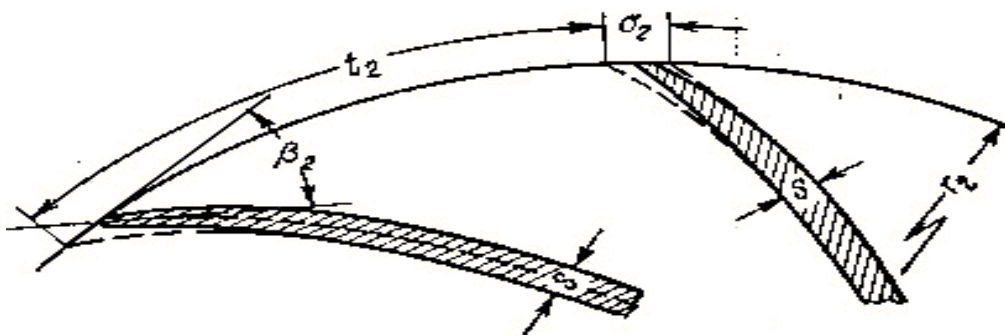
$$\Delta h_{kir} = \frac{(V_1 \cos \alpha_1)^2}{2g} = \frac{V_{1u}^2}{2g} \quad (7.42)$$

Shunday qilib, $\alpha_1 = 90^\circ$ bo'lganda $\cos \alpha_1 = 0$ teng, mos xolda $\Delta h = 0$ ga tengdir.

Tajriba sinovlari shuni ko'rsatadiki, parraklarni kirish qismini uchliroq qilib tayyorlash, ularning FIKini yaxshilamasdan, balki kamaytirib yuboradi. Parraklarni kirish qismini dumaloqroq qilish, ularning boshlang'ich elementi yunalishidan, nisbiy tezlik yunalishini birozgina chetga chiqishidagi ta'sirini kamaytiradi. Bu yo'nalishlar orasidagi burchak, **hujum qilish burchagi** deyiladi va g'ildiraklarni loyihalashda bu burchak muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari, kirish qismini dumaloqroq bo'lishi, parraklarni kam emirilishiga olib keladi.

G'ildirakdan suvni zarbsiz chiqishi.

G'ildirakdan V_2 tezlik bilan chiqqan suyuqlik yo'naltiruvchi apparatga yoki olib ketish kanaliga tushadi. Suyuqlik chiqishda g'ildirakka yoki olib ketuvchi kanalga kelib uriladi va absolyut tezlikni tashkil qiluvchisi – meridional' tezlik – V_{2m} , bir qismini yo'qotadi. Suyuqlik esa, g'ildirakka urinma bo'lgan absolyut tezlikni tashkil qiluvchi – tangensial tezlik – V_{2u} yo'nalishida harakat qiladi.



7.31-rasm. Markazdan qochma nasos ish g'ildiragidan chiqishda parraklar va kanalning kesimi.

Shunday qilib zarbsiz chiqish shrtlari.

1 – shart. α_2 burchagi (rasm 7.28) kichik bo'lishi kerak, buning natijasida meridional tezlikning miqdori kichik bo'ladi, ammo $\alpha_2 = 0$ bo'lmasligi shart, chunki $V_{2m} = 0$ bo'lsa, mos holda $Q = 0$ (formula 7.41), ya'ni nasos suv ko'tarib bermaydi;

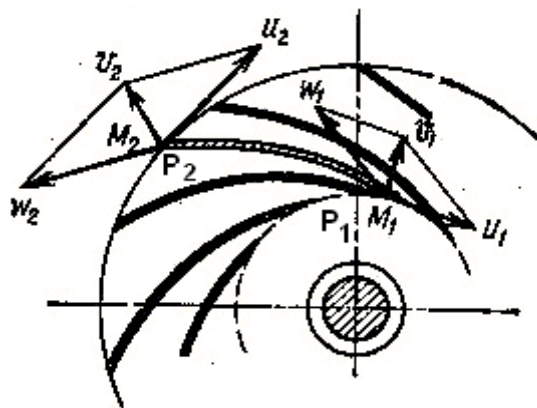
2 – shart. Parraklarni chiqishdagi oxirini uchliroq qilish kerak (7.31-rasm).

Suyuqlikni g'ildirakdan chiqishda yo'qotgan bosimi, meridional tezlikka bog'liq, ya'ni

$$\Delta h_{chiq} = \frac{V_{2m}^2}{2g}$$

7.3.3. Markazdan qochma nasosning asosiy tenglamasi va nazariy bosimi

Markazdan qochma nasosning asosiy tenglamasini tuzishda ish g'ildiragidagi ariqchalar sonini cheksiz deb faraz qilamiz (rasm 7.32). G'ildirak ichida M_1 , M_2 oddiy oqim olamiz va ulardagi absolyut bosimni P_1 va P_2 bilan belgilaymiz.



7.32-rasm. Suyuqlik oddiy oqimining ish g'ildiragi ichidagi harakati.

M_2 nuqtani M_1 ga nisbatan baland joylashganini hisobga olmasdan oddiy oqim nisbiy harakat uchun Bernulli tenglamasini yozamiz:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{W_2^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{W_1^2}{2g} + h_{m.k.} - \Delta h_{gil} \quad (7.43)$$

bunda:

$h_{m.k.}$ – suyuqlik tomchisining M_1 , M_2 yo'lda g'ildirak aylanishidan hosil bo'lgan markazdan qochma kuch tufayli olgan solishtirma energiyasi, (7.30) formulaga asosan.

$$h_{m.k.} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} \quad (7.44)$$

$\Delta h_{gil.}$ – ish g'ildiragi ichida yo'qotilgan bosim.

G'ildirakdagi ariqchalar soni cheksiz bo'lganda nazariy bosim, yoki markazdan qochma nasosning asosiy tenglamasi.

$$H_{p_{\infty}} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} - \Delta h_{gil} \quad (7.45)$$

Bu tenglamadan amaliy ishlarda foydalanish qiyinroq, shuning uchun uni qaytadan ko'rib chiqamiz. Buning uchun markazdan qochma nasos qurilmasining sxemasini chizib olamiz (rasm 7.32) .

M_0M_1 oqim chizig'i (liniya toka) uchun 0-0 va 1-1 kesmalari orqali 0-0 tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasini tuzamiz.

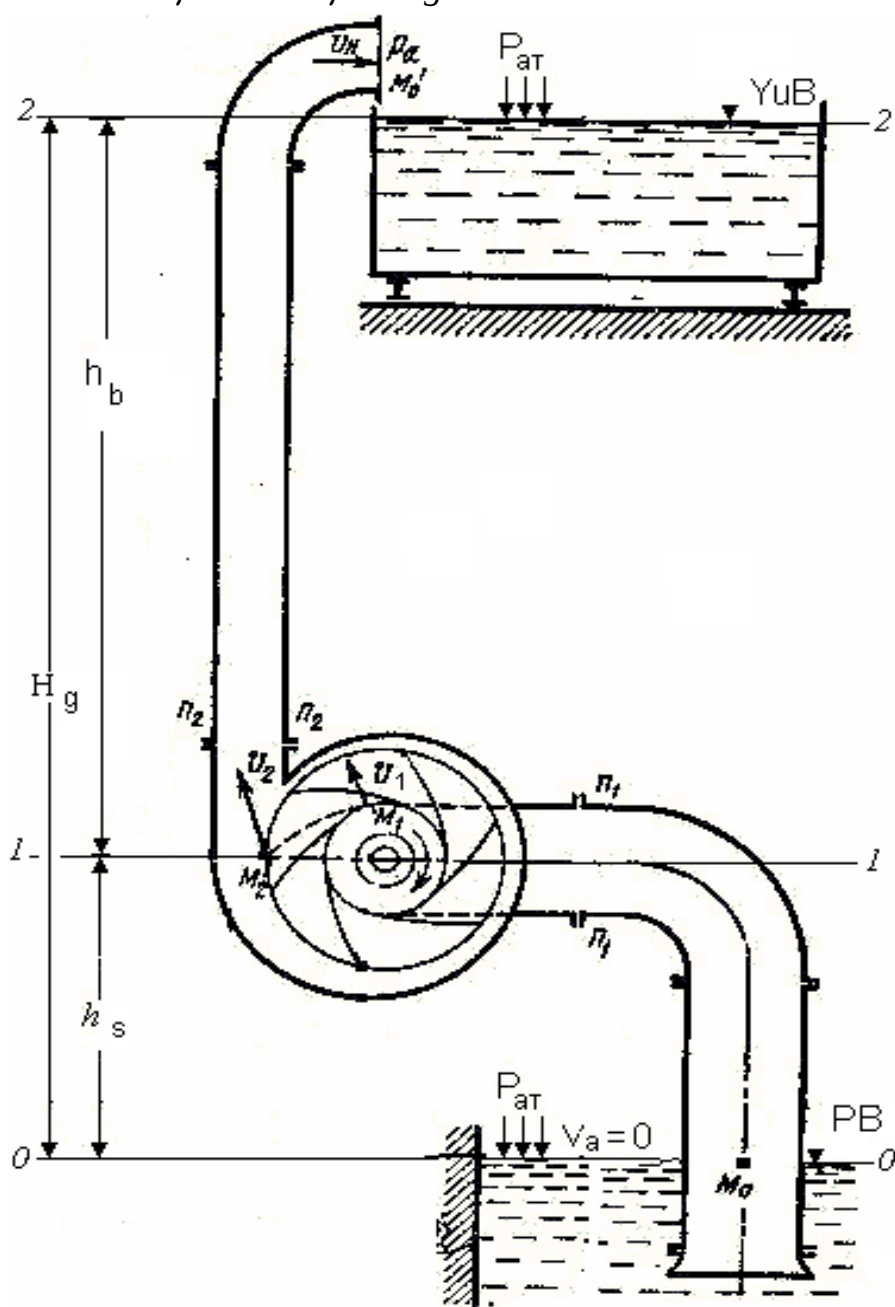
$$O + \frac{P_a}{\gamma} + O = h_{sur} + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + \sum \Delta h_{sur.n.}^1 \quad (7.46)$$

bunda: $\sum \Delta h_{sur.n.}^1$ – so'rish quvuri va nasos korpusidagi gidravlik qarshiliklar yig'indisi.

$$\sum \Delta h_{sur.n.} = \Delta h_{sur.quv.} + \Delta h_n \quad (7.47)$$

$$\frac{P_a - P_1}{\gamma} = h_{sur} + \frac{V_1^2}{2g} + \Delta h_{sur.quv.} + \Delta h_{n.sur.} \quad (7.48)$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = h_c - \frac{P_a}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} - \Delta h_{sur.quv.} - \Delta h_{n.s.} \quad (7.49)$$



7.33-rasm. Markazdan qochma nasosning asosiy ishlash tenglamasini olish sxemasi.

Keyin $M^1_0M_2$ oqim chizig'i uchun 1-1 va 2-2 kesimlari orqali 1-1 tekisligiga nisbatan Bernulli tenglamasini tuzamiz.

$$O + \frac{P_2}{\gamma} - \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_a}{\gamma} + h_{bos} + \sum \Delta h_{bos.n.}^1 + \frac{V_{bos}^2}{2g} \quad (7.50)$$

bunda: $\sum \Delta h_{bos.n.}^1$ – bosimli quvur va nasos korpusidagi gidravlik qarshiliklar yig'indisi.

$$\sum \Delta h_{bos.n.}^1 = h_{bos.quv.} + \Delta h_{nas.bos.} \quad (7.51)$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = h_{bos} + \Delta h_{bos.quv.} + \Delta h_n + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_{bos}^2 - V_2^2}{2g} \quad (7.52)$$

$\frac{P_2 - P_a}{\gamma}$ ni aniqlash uchun $\frac{P_2}{\gamma}$ va $\frac{P_1}{\gamma}$ larning o'rniga, ularning 7.49 hamda 7.52 tenglamalaridagi qiymatlarini qo'yamiz.

Natijada,

$$\begin{aligned} H_{p_\infty} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} &= h_{bos} + \Delta h_{bos.quv.} + \Delta h_n + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_{bos}^2 - V_2^2}{2g} - \left(\frac{P_a}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g} - \Delta h_{sur.quv.} - \Delta h_n \right) = \\ &= h_{bos} + \Delta h_{bos.quv.} + \Delta h_{b.n.} + \frac{V_{bos}^2 - V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + \Delta h_{sur.quv.} + \Delta h_{sur.n.} + h_s \end{aligned}$$

Qarama-qarshi ishorali bir xil nomdagi miqdorlar qisqartirilgandan so'ng, tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$H_{p_\infty} = h_{sur} + h_{bos.} + \Delta h_{bos.quv} + \Delta h_{sur.quv.} + \Delta h_{sur.n.} + \Delta h_{bos.n.} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \frac{V_{bos.}^2}{2g} \quad (7.53)$$

$$h_{sur} + h_{bos.} + \Delta h_{bos.quv} + \Delta h_{sur.quv.} + \Delta h_{bos.quv.} + \frac{V_n^2}{2g} = H$$

H – nasosning bosimi bo'lganligi sababli,

$$H_{p_\infty} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = H + \Delta h_{sur.n.} + \Delta h_{bos.n.} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \quad (7.54)$$

Nazariy bosimni (7.45) formula bo'yicha qiymatini o'rniga qo'ysak.

$$\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} - \Delta h_{gil} = H + \Delta h_{sur.n.} + \Delta h_{bos.n.} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \quad (7.55)$$

$$\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = H + \Delta h_{sur.n.} + \Delta h_{bos.n.} + \Delta h_{gil} \quad (7.56)$$

$\Delta h_{sur.n.} + \Delta h_{bos.n.} + \Delta h_{gil} = \Delta h_n$ - nasos ichida yo'qotilgan bosim.

$H + \Delta h_n = H_{t_\infty}$ - cheksiz ariqchalar sonida nazariy bosim.

Demak:

$$H_{t_\infty} = W_1^2 = U_1^2 + V_1^2 - V_1 U_1 \cos \alpha_1 = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (7.57)$$

Ushbu 3.28 tenglamaga, markazdan qochma nasosning asosiy nazariy tenglamasi deyiladi. Bu tenglama, geodezik ko'tarib berish balandligi, so'rish va ko'tarish quvurlaridagi hamda nasosning o'zidagi qarshiliklarni engish uchun, nasos kinetik energiyasi qanday o'zgarishi kerakligini ko'rsatadi.

Nisbiy harakat tezligi qiymatini (7.38) formulaga asosan (7.58) ga qo'ysak,

$$W_1^2 = U_1^2 + V_1^2 - 2V_1 U_1 \cos \alpha_1$$

$$W_2^2 = U_2^2 + V_2^2 - 2V_2 U_2 \cos \alpha_2$$

$$H_{t\infty} = \frac{U_2^2 - U_1^2 + U_1^2 + U_1^2 - 2UV \cos \alpha_1 - (U_2^2 + V_2^2 - 2U_2V_2 \cos \alpha_2) + V_2^2 - V_1^2}{2g} =$$

$$= \frac{U_2^2 - U_1^2 + U_1^2 + U_1^2 - 2U_1V_1 \cos \alpha_1 - U_2^2 + V_2^2 - 2U_2V_2 \cos \alpha_2 + V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

Qarama-qarshi ishorali bir xil nomdagi miqdorlar qisqartirilgandan so'ng, tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$H_{t\infty} = \frac{2U_2 \cdot V_2 \cos \alpha_2 - 2U_1 \cdot V_1 \cos \alpha_1}{2g} = \frac{2(U_2 \cdot V_2 \cos \alpha_2 - U_1 \cdot V_1 \cos \alpha_1)}{2g} \quad (7.59)$$

Qisqartirishlardan so'ng,

$$H_{t\infty} = \frac{U_2 \cdot V_2 \cos \alpha_2 - U_1 \cdot V_1 \cos \alpha_1}{g} \quad (7.60)$$

ko'rinishdagi markazdan qochma nasos uchun L.Eyler formulasini olamiz.

Ish g'ildiragiga suv radial holatda kirganida, $\alpha_1=90^\circ$ va $\cos \alpha_1=0$ teng bo'lganligi sababli.

$$H_{t\infty} = \frac{U_2 \cdot V_2 \cos \alpha_2}{g} = |V_2 \cos \alpha_2 = V_{2u}| = \frac{U_2 - V_{2u}}{g} \quad (7.61)$$

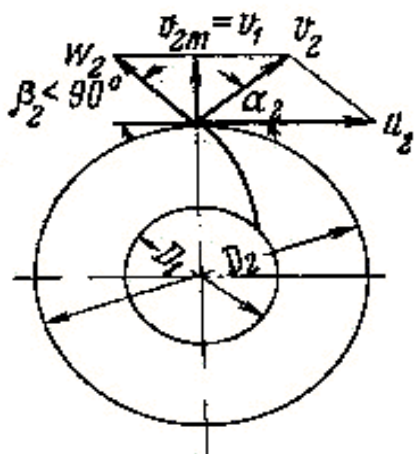
Bu tenglama, markazdan qochma nasos hosil qilgan bosim, uning suv sarfiga bog'lik emas, balki aylanma – ko'chirilgan harakat tezligi u_2 va ariqchalar (parraklar) burchagi α_2 ga bog'liq ekanligini ko'rsatadi.

7.3.4. Markazdan qochma nasoslar ish g'ildiragi parraklarini o'rnatish burchagining bosimiga ta'siri

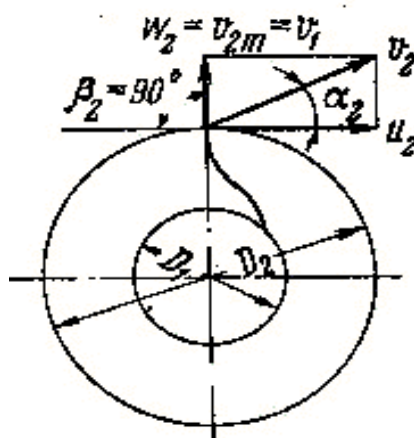
Chiqish burchagi β_2 ning miqdoriga qarab, markazdan qochma nasoslarning ish g'ildiragi parraklari 3 xilga bo'linadi. Parraklarning qiyalik burchagi (β_2), parraklar shakliga ta'sir qilib, nasos hosil qiladigan bosimning o'zgarishiga sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi.

Parraklari orqaga qayirilgan ($\beta_2 < 90^\circ$)

bunda $U_2 > U_{2u}$.



7.34-rasm. a) Ish g'ildiragining orqaga qayirilgan parraklari shakli



7.34-rasm. b) Ish g'ildiragining radial chiqishli parraklari shakli.

Odatda, $V_{2u} \cong 0,7 U_2$ bo'lganligi uchun,

$$H_{t\infty} = \frac{U_2 V_{2u}}{g} = 0,7 \frac{U_2^2}{g} \quad (7.62)$$

nazariy bosim kamayadi.

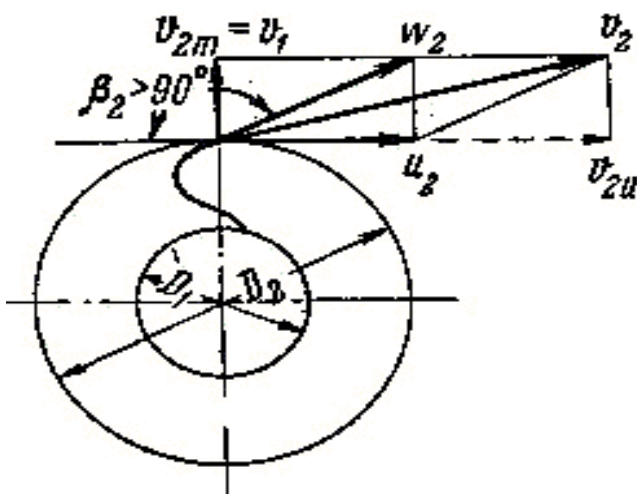
Parraklari radial chiqish bilan ($\beta_2 = 90^\circ$)

bunda, $W_2 = V_{2m}$; $U_2 = V_{2u}$. bo'lganligi sababli, nazariy bosim,

$$H_{t\infty} = \frac{U_2 V_{2u}}{g} = \frac{U_2^2}{g} \text{ ga teng} \quad (7.63)$$

Parraklari oldinga qayrilgan ($\beta_2 > 90^\circ$) .

bunda $U_2 < V_{2u}$.



7.34-rasm. Ish g'ildiragining oldinga qayrilgan parraklari shakli.

Odatda, $V_{2u} \cong 1,4 U_2$ bo'lganligi uchun,

$$H_{t\infty} = \frac{U_2 V_{2u}}{g} = 1,4 \frac{U_2^2}{g} \quad (7.64)$$

nazariy bosim ko'payadi.

β_2 burchagining qiymati oshishi bilan, nasosning nazariy bosimi oshib boradi. Odatda markazdan qochma nasoslar ish g'ildiragi parraklarning burchaklari quyidagilarga teng bo'ladi:

$$\alpha_1 = 90^\circ; \beta_1 = 25 - 30^\circ; \alpha_2 = 8-15^\circ; \beta_2 = 25-50^\circ.$$

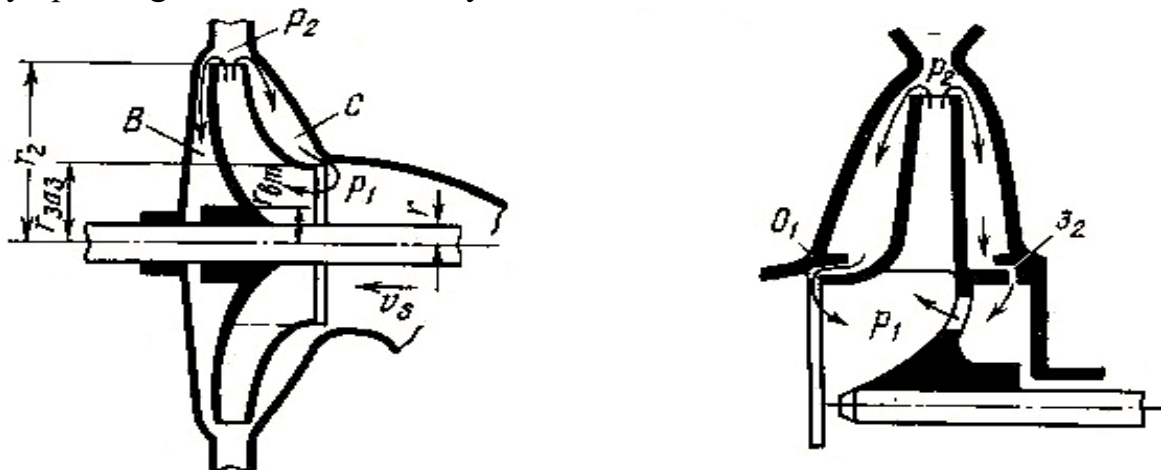
7.3.5. Markazdan qochma nasoslarning ish g'ildiragiga tushadigan o'qiy yuklanishlar va o'qiy zo'riqlishlarni kamaytiruvchi qurilmalar

Ish g'ildiragiga tushadigan o'qiy zo'riqlishlarni aniqlash uchun, 7.35–rasmda tasvirlangan markazdan qochma nasos ish g'ildiragi sxemasini ko'rib chiqamiz.

Nasos ishlab turganda, so'rish quvuri tomonidan, atmosfera bosimidan (P_{at}) kichik bo'lgan P_1 bosim ta'sir qilib turadi. (rasm 7.35 a) . Ish g'ildiragi va uning atrofidagidagi bosimni P_2 deb belgilaymiz. P_2 bosim P_1 dan katta ($P_2 > P_1$) .

Bosimlar farqi bo'lganligi uchun ($\Delta P = P_2 - P_1$) , g'ildirakdan chiqqan suv, uning ochiq qolgan tirqishlardan C bo'shliq orqali so'rish quvuri tomon oqa boshlaydi. /ildirak aylanishi natijasida hosil bo'lgan markazdan qochma kuch ta'sirida, C bo'shliqdan oqayotgan suyuqlik kamaya boshlaydi. C bo'shliqda, P_1 va P_2 oralig'idagi bosim – P ($P_1 < P < P_2$) hosil bo'ladi. G'ildirakning B bo'shlig'i

atrofidagi bosim P_2 teng bo'ladi. Markazdan qochma kuch ta'sirida, nasos valiga yaqinlashgan sari, bosim kamayib boradi.



7.35-rasm. Ish g'ildiragiga tushadigan o'qiy yuklanishlar
a—zo'riqlashlarni kamaytiruvchi tirqishsiz b—zo'riqlashlarni kamaytiruvchi tirqishli

Agar B va C bo'shliqlaridagi bosimlarni teng deb faraz qilsak, unda g'ildirakning ikki tomonidagi bosimlar farqi, ya'ni o'qiy bosim quyidagicha topiladi.

$$P_{o'q} = P_2(\pi r_2^2 - \pi r_{vt}^2) - P_2(\pi r_2^2 - \pi r_{zaz}^2) - P_1(\pi r_{zaz}^2 - \pi r_{vt}^2);$$

$$P_{o'q} = P_2\pi r_2^2 - P_2\pi r_{vt}^2 - P_2\pi r_2^2 - P_2\pi r_{zaz}^2 - P_1\pi r_{zaz}^2 - P_1\pi r_{vt}^2;$$

Qarama-qarshi ishorali bir xil nomdagi miqdorlar qisqartirilgandan so'ng, tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$P_{o'q} = (\pi r_{zaz}^2 - \pi r_{vt}^2)(P_2 - P_1) \quad (7.65)$$

Parraklari orqaga qayrilgan, odatdagi radial ish g'ildiraklariga tushadigan o'qiy zo'riqlashlarni, quyidagi taqribiy formula bilan hisoblash mumkin.

$$P_{o'q} = \gamma H \pi (r_{zaz}^2 - r_{vt}^2)$$

bunda: H – nasosning to'la bosimi; $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ – suvning solishtirma og'irligi.

Nasosdagi o'qiy zo'riqlashlarni muvozanatlash uchun gidravlik va mexanik usullardan foydalaniladi.

7.3.6. O'qiy nasoslarning qisqacha nazariyasi

Suyuqlik harakati nasos o'qiga parallel bo'lgani uchun aylanma harakat tezligi (U) parrakka kirishida va parrakdan chiqishida bir – biriga teng bo'ladi, ya'ni $U = U_1 = U_2$. Ma'lumki absolyut harakat tezligi (V) meridional (V_m) va tangensial (V_u) harakat tezliklaridan tashkil topgan. O'qiy nasoslarda meridional harakat tezligi (M_{1m}) kirishdagi (V_o) va g'ildirakka zarbsiz kirishdagi absolyut harakat tezliklariga tengdir, ya'ni $V_{1m} = V_o = V_1$.

O'qiy nasos ichidagi suyuqlikni okishi, 3.10 rasmdagi, r va $r = dr$ radiusli silindrik sirtlar bilan chegaralangan g'ildirak parraklari elementlarining tekislikka yoyilgan sxemasida tasvirlangan. Shu sxemada silindrik sirtidagi suv tomchisining traektoriyasi xam ko'rsatilgan.

Cheksiz parraklar sonida markazdan qochma nasoslar uchun L.Eyler tenglamasini yozamiz.

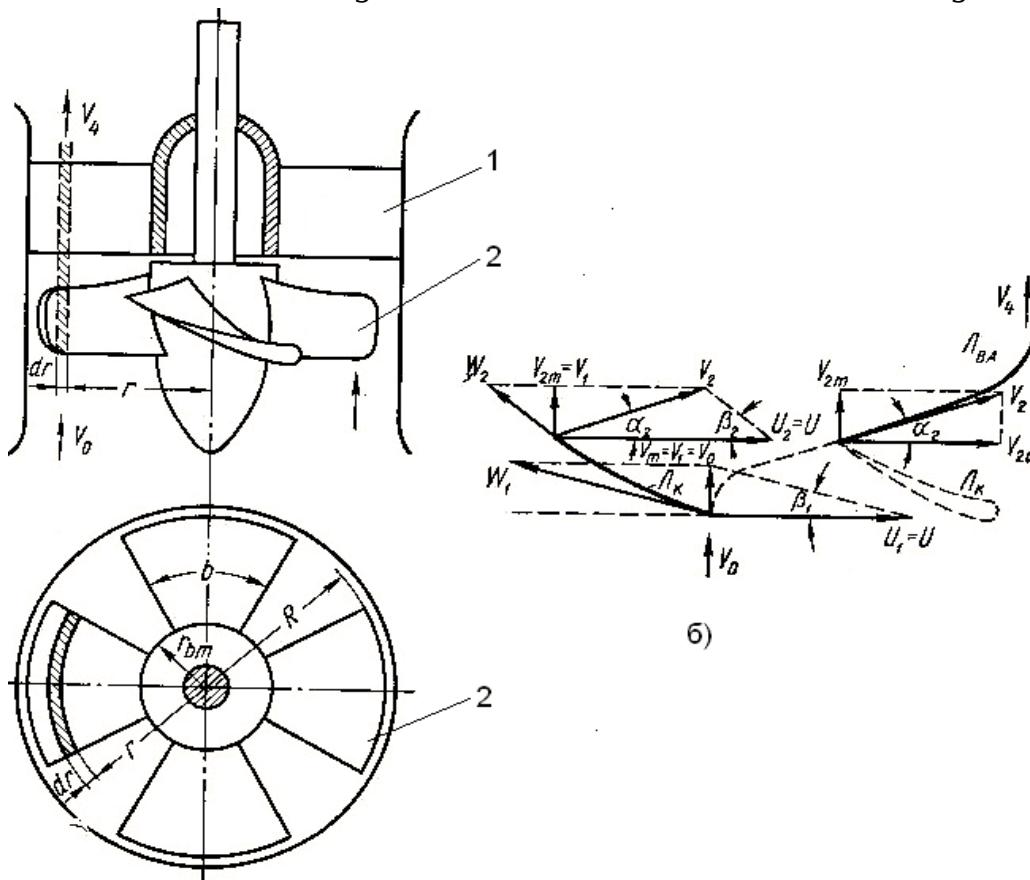
$$H_t \infty = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} = 0 \quad (7.66)$$

$$U_1 = U_2 \text{ bo'lgani uchun: } \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} = 0$$

$$\text{Bilamizki, } W_1^2 = U_1^2 + V_1^2 - 2U_1V_1 \cos \alpha_1 \quad W_2^2 = U_2^2 + V_2^2 - 2U_2V_2 \cos \alpha_2$$

Shuning uchun, 7.66- tenglama 7.60-tenglama xolatga keladi.

$$H_t = \frac{V_2^2 - V_1^2 + U_1^2 + V_1^2 - 2U_1V_1 \cos \alpha_1 - U_2^2 - V_2^2 + 2U_2V_2 \cos \alpha_2}{2g} = \frac{U_2V_2 \cos \alpha_2 - U_1V_1 \cos \alpha_1}{g} = 0$$



a)

7.36-rasm. O'qiy nasos (a) va undagi okimning kinematikasi (b) .
1 – to'g'rilovchi apparatning parraklari; 2 – ish g'ildiragi parraklari

Qarama-qarshi ishorali bir xil nomdagi miqdorlar qisqartirilgandan so'ng hamda $V_1 = V_{1m}$, $\alpha_1 = 90^\circ$ bo'lganda $\cos \alpha_1 = 0$ ekanligini xisobga olsak, tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$H_t = \frac{U_2 V_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (7.67)$$

Shunday qilib, o'qiy nasoslarning nazariy bosimi

$$H_t = \frac{U_2 V_2 \cos \alpha_2}{g} = |V_2 \cos \alpha_2 = V_{2u}| = \frac{U_2 V_{2u}}{g} \text{ teng.} \quad (7.68)$$

Bu tenglama, o'qiy nasoslarning bosimi, uning suv sarfiga emas, balki aylanishlar soniga va parraklarining burilish burchagiga bog'likligini ko'rsatadi.

O'qiy nasoslarning suv sarfi juda katta. Ishlab chiqarilayotgan nasoslarning suv sarfi $0,5 - 45 \text{ m}^3/\text{s}$ tengdir. Hozir suv sarfi $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ga teng nasoslar yaratish ustida ish olib borilmoqda.

O'qiy nasoslarning nazariy suv sarfi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$Q_t = (\pi R_{gil}^2 - \pi r_{vt}^2) V_1 \quad (7.69)$$

bunda, 7.36-rasmga R_{gil} - ish g'ildiragi radiusi; r_{vt} - vtulka radiusi; asosan: V_1 – suvning ish g'ildiragidagi absolyut tezligi.

7.3.7. Nasosning nusxalashtirish va o'xshashlik qonunlari

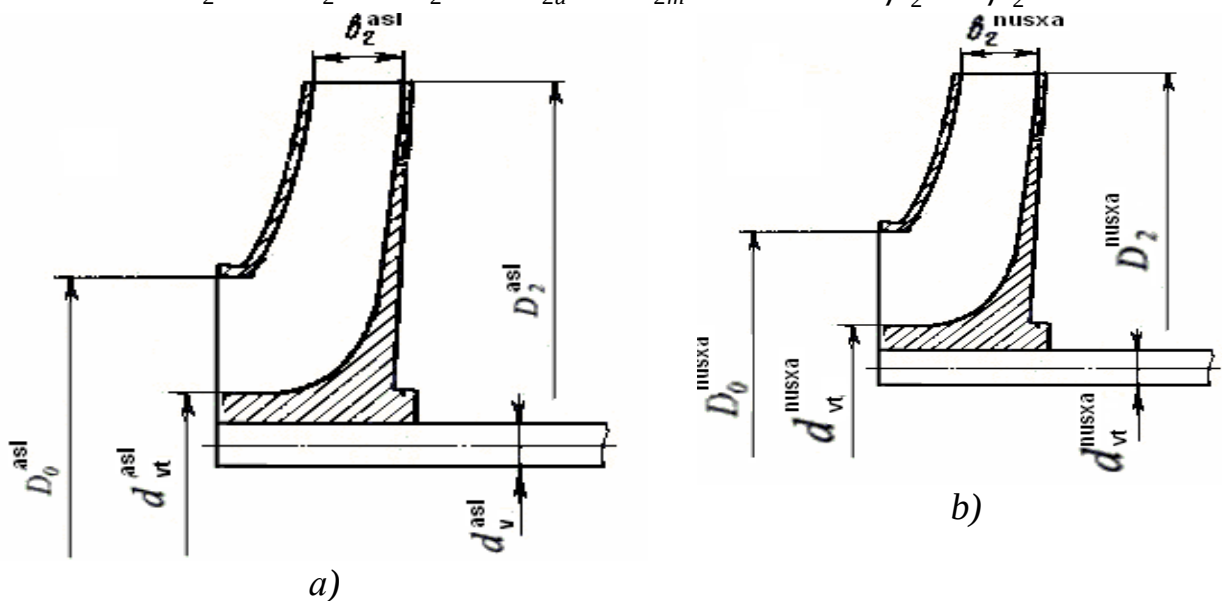
Nasoslarni nusxalashtirish, parrakli nasos nusxasining suv oqadigan qismidagi fizik jarayonni o'xshashligi asosida, nusxaga o'xshaydigan asl nasosdagi oqimga baho berish imkonini beradi. Nasoslar va ular ichidagi gidrodinamik hodisalarni nusxalashtirishda geometrik, kinematik va dinamik o'xshashliklar asos qilib olinadi.

Geometrik o'xshashlik – Asl va nusxa nasosdagi o'xshah qismlar o'lchamlarining bir-biriga nisbati o'zgarmas bo'ladi (rasm 7.37) . Demak,

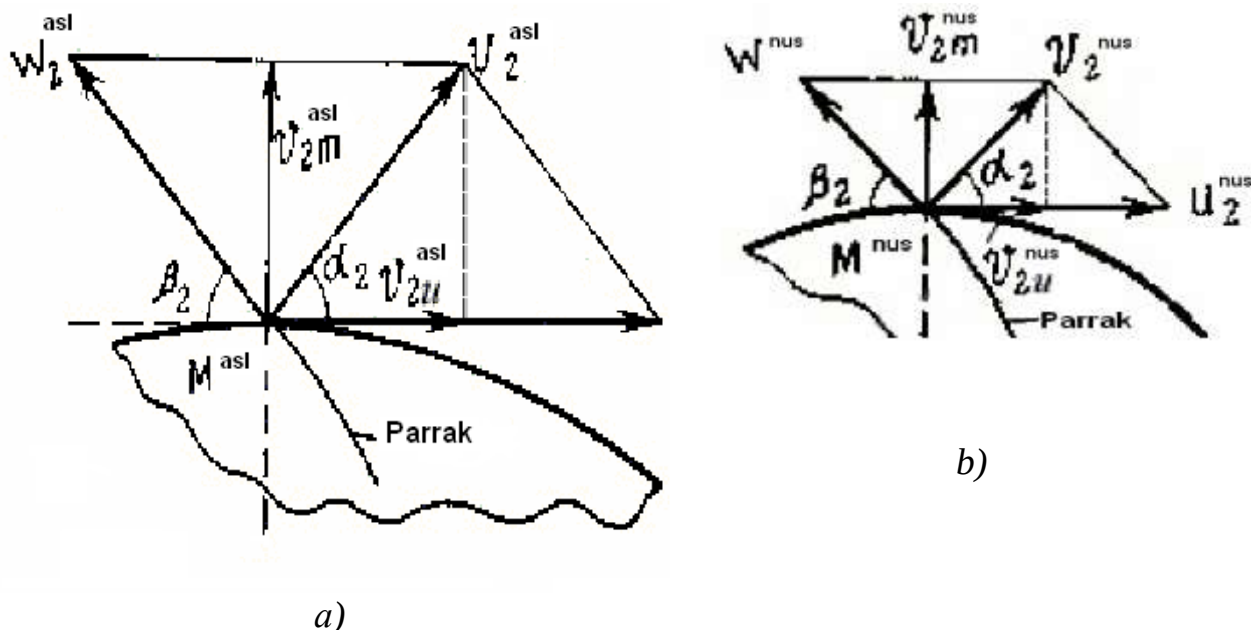
$$\text{Demak, } \frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} = \frac{D_0^{asl}}{D_0^{nus}} = \frac{b_2^{asl}}{b_2^{nus}} = \frac{d_{vt}^{asl}}{d_{vt}^{nus}} = \frac{d_v^{asl}}{d_v^{nus}} = \text{const} \quad (7.70)$$

Kinematik o'xshashlik – Asl va nusxa nasoslarning kirish va chiqish uchburchaklaridagi bir xil tezliklarning bir – biriga nisbati o'zgarmas bo'ladi, burchaklari α va β esa bir – biriga teng bo'ladi (rasm 7.38) .

$$\text{Demak, } \frac{W_2^{asl}}{W_2^{nus}} = \frac{U_2^{asl}}{U_2^{nus}} = \frac{V_2^{asl}}{V_2^{nus}} = \frac{V_{2u}^{asl}}{V_{2u}^{nus}} = \frac{V_{2m}^{asl}}{V_{2m}^{nus}} = \text{const} \text{ va } \begin{matrix} \alpha_2^{asl} = \alpha_2^{nus} \\ \beta_2^{asl} = \beta_2^{nus} \end{matrix} \quad (7.71)$$



7.37-rasm. Geometrik o'xshash asl (a) va nusxa (b) nasoslarning ish g'ildiraklari.



7.38-rasm. Kinematik o'xshash asl (a) va nusxa (b) ish g'ildiraklaridan chiqishdagi tezlik uchburchaklari.

Dinamik o'xshashlik – Asl va nusxa nasoslardagi oqimlarda, inersiya kuchining ishqalanish kuchiga, yoki og'irlik kuchiga nisbati, o'zgarmas bo'ladi, ya'ni o'xshashlik mezonlari bir – biriga teng bo'ladi.

Dinamik o'xshashlikni, o'xshashlik mezonlari belgilaydi. o'xshashlik mezonlari qilib, Reynol'ds soni, Frud soni va Struxal soni olinadi.

$$\begin{aligned} \text{Re}^{asl} &= \text{Re}^{nus}; \\ \text{Fr}^{asl} &= \text{Fr}^{nus}; \\ \text{Sh}^{asl} &= \text{Sh}^{nus}. \end{aligned} \quad (7.72)$$

o'xshashlik mezonlaridir.

Ammo, hamma vaqt dinamik o'xshashlikni bu uchala o'xshashlik mezonlari ifodalashi shart emas. Tajribada shunday hollar ham uchrashi mumkinki bunda, bir yoki ikki o'xshashlik mezonlari dinamik o'xshashlikni ifodalay olishi mumkin.

Parrakli nasoslarda, Frud va Struxal mezonlari birdayligiga, kinematik o'xshashlikda amal qilinadi. Reynol'ds mezonini esa, yopishqoqlikni hisobga oladi. Suvni yuqoriga chiqarayotgan parrakli nasoslarda yopishqoqlikning ta'siri kam bo'ladi. Shuning uchun, Reynol'ds mezonini hisobga olmasak ham bo'ladi.

Shunday qilib, ko'p hollarda parrakli nasoslarni sinashda va uning qismlarini nusxalashtirishda, faqatgina geometrik va kinematik o'xshashlik qonunlariga amal qilsak etarli bo'ladi. Shunga asosan, parrakli nasoslarni asosiy mezonlarini topamiz.

Ikkita geometrik o'xshash parrakli nasoslar kinematik o'xshash rejimida ishlayotgan bo'lsin (rasm 7.38). O'xshashlik shartlariga asosan,

$$\frac{W_2^{asl}}{W_2^{nus}} = \frac{U_2^{asl}}{U_2^{nus}} = \frac{V_2^{asl}}{V_2^{nus}} = \frac{V_{2u}^{asl}}{V_{2u}^{nus}} = \frac{V_{2m}^{asl}}{V_{2m}^{nus}} = \frac{60\pi D_2^{asl} n^{asl}}{60\pi D_2^{nus} n^{nus}} = const \quad (7.73)$$

Kasr qisqartirilgandan so'ng va tezlik uchburchaklari o'xshash bo'lgani uchun,

$$\begin{aligned} \frac{U_2^{asl}}{D_2^{asl} n^{asl}} &= \frac{U_2^{nus}}{D_2^{nus} n^{nus}} = const; \\ \frac{W_2^{asl}}{D_2^{asl} n^{asl}} &= \frac{W_2^{nus}}{D_2^{nus} n^{nus}} = const; \\ \frac{V_2^{asl}}{D_2^{asl} n^{asl}} &= \frac{V_2^{nus}}{D_2^{nus} n^{nus}} = const; \\ \frac{V_{2m}^{asl}}{D_2^{asl} n^{asl}} &= \frac{V_{2m}^{nus}}{D_2^{nus} n^{nus}} = const; \\ \frac{V_{2u}^{asl}}{D_2^{asl} n^{asl}} &= \frac{V_{2u}^{nus}}{D_2^{nus} n^{nus}} = const. \end{aligned}$$

Bundan kelib chiqadiki, kinematik o'xshash rejimda ishlayotgan ikki geometrik o'xshash nasoslar uchun, har kanday o'xshash tezliklarning, ish g'ildiragi diametri o'lchamining aylanishlar soni ko'paytmasiga nisbati doimiy songa tengdir.

$$\begin{aligned} \frac{U_2}{D_2 \cdot n} &= const; \quad \frac{W_2}{D_2 \cdot n} = const; \quad \frac{V_2}{D_2 \cdot n} = const; \quad \frac{V_{2m}}{D_2 \cdot n} = const; \\ \frac{V_{2u}}{D_2 \cdot n} &= const. \end{aligned}$$

O'xshashlik formulalari

O'xshashlik formulalarini uch xil holat uchun ko'rib chiqamiz.

1-xolat. Ikkita geometrik o'xshash, ammo aylanishlar soni bir-biriga teng bo'lmagan nasoslar uchun o'xshashlik formulalari. ($n^{asl} \neq n^{nus}$; $D_2^{asl} \neq D_2^{nus}$).

Suv sarfi uchun:

$$Asl \text{ nasosning suv sarfi} - \quad Q^{asl} = \pi D_2^{asl} b_2^{asl} \Psi V_{2m}^{asl} \cdot \eta_{haj}^{asl};$$

$$Nusxa \text{ nasosning suv sarfi} - \quad Q^{nus} = \pi D_2^{nus} b_2^{nus} \Psi V_{2m}^{nus} \cdot \eta_{haj}^{nus}.$$

bunda: Ψ – parraklar tufayli yuzaning kamayish koeffitsienti;

$$\eta_{haj}^{asl} = \eta_{haj}^{nus} \quad - \text{ nasosning xajmiy F.I.K.}$$

Suv sarflarining nisbati,

$$\frac{Q^{asl}}{Q^{nus}} = \frac{\pi D_2^{asl} b_2^{asl} \Psi V_{2m}^{asl} \cdot \eta_{haj}^{asl}}{\pi D_2^{nus} b_2^{nus} \Psi V_{2m}^{nus} \cdot \eta_{haj}^{nus}} = \frac{D_2^{asl} b_2^{asl} V_{2m}^{asl}}{D_2^{nus} b_2^{nus} V_{2m}^{nus}} = \frac{D_2^{asl} D_2^{asl} D_2^{asl} \cdot n^{asl}}{D_2^{nus} D_2^{nus} D_2^{nus} \cdot n^{nus}};$$

$$\text{Demak, suv sarfi uchun o'xshashlik formulasi} - \frac{Q^{asl}}{Q^{nus}} = \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^3 \frac{n^{asl}}{n^{nus}}; \quad (7.74)$$

Bosim uchun:

Asl nasos bosimi -
$$H^{asl} = \frac{U_2^{asl} V_2^{asl}}{g};$$

Nusxa nasos bosimi -
$$H^{nus} = \frac{U_2^{nus} V_2^{nus}}{g}.$$

Bosimlar nisbati,

$$\frac{H^{asl}}{H^{nus}} = \frac{U_2^{asl} \cdot V_2^{asl}}{g} : \frac{U_2^{nus} \cdot V_2^{nus}}{g} = \frac{U_2^{asl} \cdot V_2^{asl}}{U_2^{nus} \cdot V_2^{nus}} = \frac{D_2^{asl} \cdot n^{asl} \cdot D_2^{asl} \cdot n^{asl}}{D_2^{nus} \cdot n^{nus} \cdot D_2^{nus} \cdot n^{nus}};$$

Demak, bosim uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{H^{asl}}{H^{nus}} = \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^2 \left(\frac{n^{asl}}{n^{nus}} \right)^2 \quad (7.75)$$

Quvvat uchun:

Asl nasos quvvati –
$$N_{asl} = \frac{\gamma Q^{asl} H^{asl}}{102 \eta^{asl}};$$

Nusxa nasos quvvat –
$$N_{nus} = \frac{\gamma Q^{nus} H^{nus}}{102 \eta^{nus}}.$$

Quvvatlar nisbati,

$$\frac{N^{asl}}{N^{nus}} = \frac{\gamma Q^{asl} H^{asl}}{102 \eta^{asl}} : \frac{\gamma Q^{nus} H^{nus}}{102 \eta^{nus}} = \left| \eta^{asl} = \eta^{nus} \right| = \frac{Q^{asl} H^{asl}}{Q^{nus} H^{nus}} = \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^3 \frac{n^{asl}}{n^{nus}} \cdot \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^2 \left(\frac{n^{asl}}{n^{nus}} \right)^2;$$

Demak, quvvat uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{N^{asl}}{N^{nus}} = \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^5 \left(\frac{n^{asl}}{n^{nus}} \right)^3 \quad (7.76)$$

F.I.K. uchun -

$$\eta^{asl} = \eta^{nus} \quad (7.77)$$

Qolgan ikkala (2 va 3) xolatlar uchun oxirgi natijalarni yozib kuyamiz.

2-xolat. Ikkita geometrik o'xshash, aylanishlar soni bir – biriga teng bo'lgan nasoslar uchun o'xshashlik formulalari ($n^{asl} Q n^{nus}$; $D_2^{asl} \neq D_2^{nus}$).

Suv sarfi uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{Q^{asl}}{Q^{nus}} = \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^3 \quad (7.78)$$

Bosim uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{H^{asl}}{H^{nus}} = \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^2 \quad (7.79)$$

Quvvat uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{N^{asl}}{N^{nus}} = \left(\frac{D_2^{asl}}{D_2^{nus}} \right)^5 \quad (7.80)$$

F.I.K. uchun o'xshashlik formulasi –
$$\eta^{asl} = \eta^{nus} \quad (7.81)$$

3-xolat. Ikki geometrik o'xshash, aylanishlar soni bir-biriga teng bo'lmagan, ammo ish g'ildiriklari o'lchamlari bir-biriga teng nasoslar uchun o'xshashlik formulalari

$$(n^{asl} \neq n^{nus}; D_2^{asl} = D_2^{nus}).$$

Suv sarfi uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{Q^{asl}}{Q^{nus}} = \frac{n^{asl}}{n^{nus}} \quad (7.82)$$

Bosim uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{H^{asl}}{H^{nus}} = \left(\frac{n^{asl}}{n^{nus}} \right)^2 \quad (7.83)$$

Quvvat uchun o'xshashlik formulasi –
$$\frac{N^{asl}}{N^{nus}} = \left(\frac{n^{asl}}{n^{nus}} \right)^3 \quad (7.84)$$

F.I.K. uchun o'xshashlik formulasi –
$$\eta^{asl} = \eta^{nus} \quad (7.85)$$

7.80, 7.82, 7.83 va 7.85 formulalari, yangi aylanishlar soniga qayta hisoblash formulalari deyiladi.

7.3.8 Tez yurish koeffitsienti yoki solishtirma aylanishlar soni

Parrakli nasoslarni bir – biri bilan solishtirish uchun tez yurish koeffitsientidan foydalaniladi.

Tez yurish koeffitsienti, yoki solishtirma aylanishlar soni deb, hamma qismlari qurilayotgan ish g'ildiragiga geometrik o'xshaydigan, yangi ish g'ildiraginga aylanishlar soniga aytiladi.

Yangi ish g'ildiragi, bosim $N_{nusxa} = 1 \text{ m}$, foydali quvvat $N_f = 1 \text{ ot kuchiga}$ teng bo'lganda, $Q_{nusxa} = 75 \text{ l/s}$ suv uzatish qobiliyatiga ega bo'lishi kerak. $Q_{nusxa} = Q_{asl}$, $H_{nusxa} = H_{asl}$ va $n_{nusxa} = n_{asl}$ deb hisoblab, bunday «etalon» nasosning o'lchamlari va aylanish tezligi, ya'ni tez yurish koeffitsienti quyidagi formula bilan aniqlaymiz:

$$n_{nusxa} = n_s = n \sqrt{\frac{Q_{asl}}{Q_{nusxa}}} \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{H_{nusxa}}{H_{asl}} \right)^3}; \quad (7.86)$$

Agar $Q_{nusxa} = 0,075 \text{ m}^3/\text{s}$ va $H_{nusxa} = 1 \text{ m}$ deb qabo'l qilsak, unda

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad (7.87)$$

bunda: n – nasosning aylanishlar soni (ayl/m); Q_{nusxa} , Q_{asl} – mos holda nusxa va asl nasoslarning suv sarflari (m^3/s); H_{nusxa} , H_{asl} – mos holda, nusxa va asl nasoslarning bosimlari (m).

Tez yurish koeffitsientini aniqlashda suv sarfini 75 l/s emas, balki $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ham olish mumkin. Unda hisoblash formulasi quyidagicha bo'ladi.

$$n_s = \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad (7.88)$$

Agar nasos “Д” (двусторонний) ikki tomonlama kiruvchi bo'lsa, 3.58 formuladagi suv sarfining yarmi olinadi – $Q/2$.

Agar nasos ko‘p bosqichli bo‘lsa, 3.58 formuladagi bosim o‘rniga, bosimning g‘ildiraklar soniga nisbati – H/Z olinadi (Z – g‘ildiraklar soni) .

Tez yurish koefitsienti miqdoriga qarab, nasoslar quyidagi guruhlariga bo‘linadi (markazdan qochma nasoslar klassifikasiyasiga qarang) .

- Yurish tezligiga qarab nasoslar:
- sekin yuruvchi – $n_s = 50-80$;
- normal yuruvchi - $n_s = 70-150$;
- tez yuruvchi – $n_s = 150-350$;
- diagonal nasoslar – $n_s = 350 - 500$;
- O‘qiy nasoslar – $n_s = 500 - 1500$.

7.39-rasmda parrakli nasoslar ish g‘ildiraklarining tez yurish koefitsienti va asosiy o‘lchamlarining taqribiy nisbatlari ko‘rsatilgan.

Markazdan qochma nasoslar			Diagonal (vintli) gildirak	Propelerli (o‘qiy) gildirak
Sekin yuruvchi gildirak	Normal yuruvchi gildirak	Tez yuruvchi gildirak		
 $n_s \approx 60$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 3$	 $n_s = 70-150$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 2$	 $n_s = 150-350$ $\frac{D_2}{D_0} = 1,6-1,2$	 $n_s = 350-600$ $\frac{D_2}{D_0} = 1,2-1,1$	 $n_s = 600-1200$ $\frac{D_2}{D_0} \approx 0,8$

7.39-rasm. Parrakli nasoslar ish g‘ildiraklarining tez yurish koefitsientlari va asosiy o‘lchamlarining taqribiy nisbatlari

Ish g‘ildiraklari konstruksiyasining o‘zgarishiga qarab, tez yurish koefitsienti ham quyidagicha o‘zgaradi:

- qanchalik kichik bo‘lsa va β_1 burchagi qanchalik katta bo‘lsa (natijada kirishdagi tezlik V_1 yoki V_0 qanchalik katta bo‘lsa) tez yurish koefitsienti – n_s shunchalik katta bo‘ladi;
- parraklarning chiqishdagi burchagi - β_2 qanchalik kichik bo‘lsa, ya’ni parraklar orqaga ko‘prok qayrilgan va χ qanchalik kichik bo‘lsa (χ kichik bo‘lganda parraklar soni oz bo‘ladi) , tez yurish koefitsienti – n_s shunchalik katta bo‘ladi.
- O‘xshash ish g‘ildiraklari bir xil miqdordagi tez yurish koefitsientiga ega bo‘ladi, biroq bir xil miqdordagi tez yurish koefitsientida ish g‘ildiraklari o‘xshash bo‘lmasligi mumkin.

7.3.9. Parrakli nasoslarda kavitasiya. nasoslarning o'rnatish sathini aniqlash.

Oqayotgan suyuqlikda kavitasiya xodisasi, nasosning kaysidir zonasida okimining statik bosimi, tuyingan bug bosimi miqdorigacha pasayganda yuz beradi. Odatdagi suvlarda bu bosim, tabiiy sharoit uchun ($t \leq 30^\circ\text{C}$), $0,004 \text{ MPa}$ ($H_{\text{bug}}=0,4 \text{ m}$) dan oshmaydi.

Bosim quyidagi sabablarga kura pasayib ketishi mumkin:

- katta geometrik so'rish balandligi;
- so'rishi quvo'rning uzunligi, diametrining kichikligi, burilish tirsaklari sonining kupligi, tur-setka bilan koplanganligi, bosim isrofining kattaligi;
- suv sarfi miqdori buyicha zurikishi, nasosda suv tezligining kupayishi, g'ildirak devorlaridan okimni ajralishi, uyurmalarini hosil bo'lishi;
- ish g'ildiragiga suv uzatish uchun etishmaydigan past barometrik bosim;
- uzatilayotgan suyuqlik temperaturasi yuqoriligi;
- ish g'ildiragiga suvning kirishi uchun yomon shart-sharoit.

Bosim pasaygan joyda suyuqlik kaynaydi va bug hamda kavitasiyagacha suyuqlikda eritma xolatda bo'lgan gazlar bilan tulgan kuplab pufakchalar-bushliklar hosil bo'ladi. Ular suyuqlik okimi bilan birga harakat kilib, statik bosim, tuyingan bug bosimidan yuqori bo'lgan zonalarga o'tadi. Bu zonalarda pufakchalardagi bug bir zumda kondensasiyalanadi-suvga aylanadi va vakuum hosil bo'ladi. Natijada suyuqlik, bushlikning markaziga karab harakat kiladi va pufaklarni yorib yuboradi. Kavitasiya jarayoni, okim uzluksizligining buzulishi bilan boshlanib, yana uning tiklanishi bilan tugaydigan jarayondir.

Kavitasiya – bu suvning sovuqlay qaynashi bilan bog'lik hodisalardir. Ma'lumki suv 100°C issiqda emas, balki undan past temperaturada ham qaynashi mumkin. Buning uchun bosim albatta kichik bo'lishi shart, ya'ni bosim pasayishi bilan suvning qaynash temperaturasi ham kichik bo'ladi.

Tabiiy sharoitda nasosdan o'tayotgan suvning temperaturasi $t = 10 - 20^\circ\text{C}$ ga va bu teperaturada suv bug'ining tarangligi (bosimi) $0,12 \dots 0,24 \text{ m}$ suv ustinig teng bo'ladi. Agar nasos ichkarisida shu bosimdan kam joylar bo'lsa, bu joylarda suv qaynab bug' pufakchalari hosil bo'ladi. Suyuqlik bilan harakat qilayotgan bug' pufakchalari bosim katta joylarda bir-biri bilan birlashib bo'shliq (kaverna) hosil qiladi. Bu bo'shliklar ma'lum kattalikka erishgandan so'ng bosim yuqori bo'lgan joylarda yoriladi. Ular yorilganda shunchalik tez suvga to'ladiki, natijada gidravlik zarb yuz berib, bosim bir necha yuz yoki ming atmosferaga etadi. Agar bo'shliqlar nasos qismlari yo'zida yorilsa, ular gidravlik zarbni qabo'l qilib emirila boshlaydi.

Bundan tashqari, past bosimli joylarda suvdan doimo gazalar – xavo va kislorod ajralib chiqadi. Bu gazlar hosil bo'lgan pufakchalar ichiga kirib qoladi. Pufakchalar yorilayotganda qattiq siqiladi va ularning temperaturasi juda tez ko'tarilib ketadi. Yuqori temperaturali kislorod metalga aktiv ta'sir qilib uni emirilishiga olib keladi.

Pufakchalar yorilgan $20 \dots 25$ ming er chastotali vibrasiya (tebranish, titrash) hosil bo'ladi. Bu tebranish ham nasos qismlarini emirilishiga sabab bo'ladi. Pufakchalar so'rish quvuri yaxshi zichlanib ulanmagan joylaridan kiradigan havo natijasida ham hosil bo'lishi mumkin.

Kuchli kavitasiya yuz berganda nasoslar juda tez ishdan chiqishi mumkin. Nasos stansiyalariga suv olib keluvchi ko'pgina kanallar o'zi bilan loyqa, qum va toshlarni oqizib keladi. Agar ular tindirgichlarda ushlab qolinmay nasosdan o'tsa, nasos qismlari bilan ishqalanib ularni emira boshlaydi (abraziv emirilish).

Kavitasiya hosil bo'lganda nasos ichida o'ziga xos shovqin chiqadi va nasosning F.I.K. hamda suv o'tkazishi qobilyati kamayib ketadi.

Kavitasiya tufayli emirilishi jarayonini nasos qismlarini silliqlash, ularni mustahkam materiallar hisoblangan zanglamaydigan po'lat va plasmassalardan hamda boshqa materiallardan tayyorlab kamaytirish mumkin.

7.3.10. Chegaralangan so'rish balandligi

Yuqorida kavitasiya nasos uchun juda xavfli jarayon ekanligini ko'rib chiqdi. Shuning uchun nasosga iloji boricha kavitasiasiz ishlashi uchun sharoit yaratib berish kerak.

Nasoslarni kavitasiasiz ishlash shartlaridan biri uni manba suv sathiga nisbatan to'g'ri o'rnatish, ya'ni geometrik so'rish balandligini to'g'ri tayinlashdir.

$$H_g^{sur} = H_{cheg.izl}^{vak} - \sum \Delta h_{sur} - \frac{\alpha V^2}{2g};$$

bunda: $H_g^{so'r.}$ – geometrik so'rish balandligi;

H_{cheg}^{vak} – izlanayotgan chegaralangan (mumkin bo'lgan) vakuummetrik so'rish balandligi;

$\sum \Delta h_{so'r.}$ – so'rish quvurida isrof bo'lgan umumiy bosim;

$V^2/2g$ – so'rish quvuridagi kinetik energiya.

$$H_{cheg.}^{val} = H_{cheg.izl}^{vak} + (h_b - 10) - h_{b.b.}$$

bunda: $H_{cheg.}^{val}$ – nasoslar katalogida berilgan chegaralangan vakuummetrik so'rish balandligi;

h_b – nasos o'rnatilgan joyning barometrik bosimi (1 - jadval);

$h_{b.b.}$ – suvning bug' bosimi.

Keyingi yillarda chiqqan kataloglarda berilgan nasoslarning ishchi harakteristikalarida ularning kavitasiya extiyoti xarakteristikasi ham berilgan. Kavitasiya extiyotini hisobga olgan holda, geometrik so'rish balandligi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$H_g^{sur} = H_a - \sum \Delta h_{sur} - \Delta h_{kav} - h_{b.b.}$$

bunda: H_a – nasos o'rnatilgan satxdagi bosimga mos bo'lgan suv ustuni balandligi, m;

Δh_{kav} – kavitasiya extiyoti (katalogdan olinadi).

H_a quyidagicha aniqlanadi.

$$H_a = 10,33 - \frac{\nabla PB}{900};$$

bunda: 10,33 – normal atmosfera bosimiga mos suv ustuni balandligi, m;

∇PB – suv olinayotgan manba (pastgi b'ef) dagi suv satxi.

Loyiha va ekspluatatsiya tashkilotlarining tajribasiga ko'ra, musbat so'rish balandligiga ega bo'lgan er usti nasos stansiyalarida so'rish balandligini 3 m teng qilib qabo'l qilish zarur ekan.

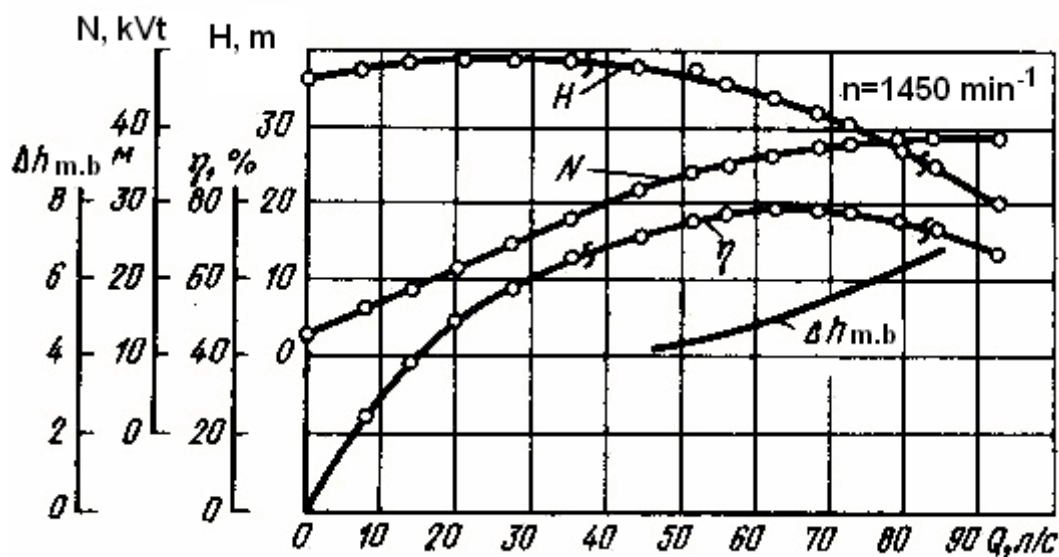
7.4. PARRAKLI NASOSLAR XARAKTERISTIKASI. NASOSLARNI QUVURLAR BILAN BIRGALIKDA ISHLASHI

7.4.1. Nasoslar xarakteristikasi

Markazdan qochma nasoslarning xarakteristikalari

Ish g'ildiragi diametri va aylanishlar soni doimiy bo'lgan nasosning bosimi, quvvati, foydali ish koeffitsienti va mumkin bo'lgan vakummetrik so'rish balandligini (kavitatsiya ehtiyotini) suv sarfiga bog'liqligini ko'rsatuvchi grafiklarga nasosning xarakteristikalari deyiladi, ya'ni $H=f_1(Q)$, $N=f_2(Q)$, $\eta=f_3(Q)$ va $\Delta h_{m.b.}=f_4(Q)$. Ishchi xarakteristikalari, laboratoriyalardagi maxsus stendlarda, nasoslar bilan o'tkaziladigan sinovlar natijasiga qarab quriladi (rasm 7.40).

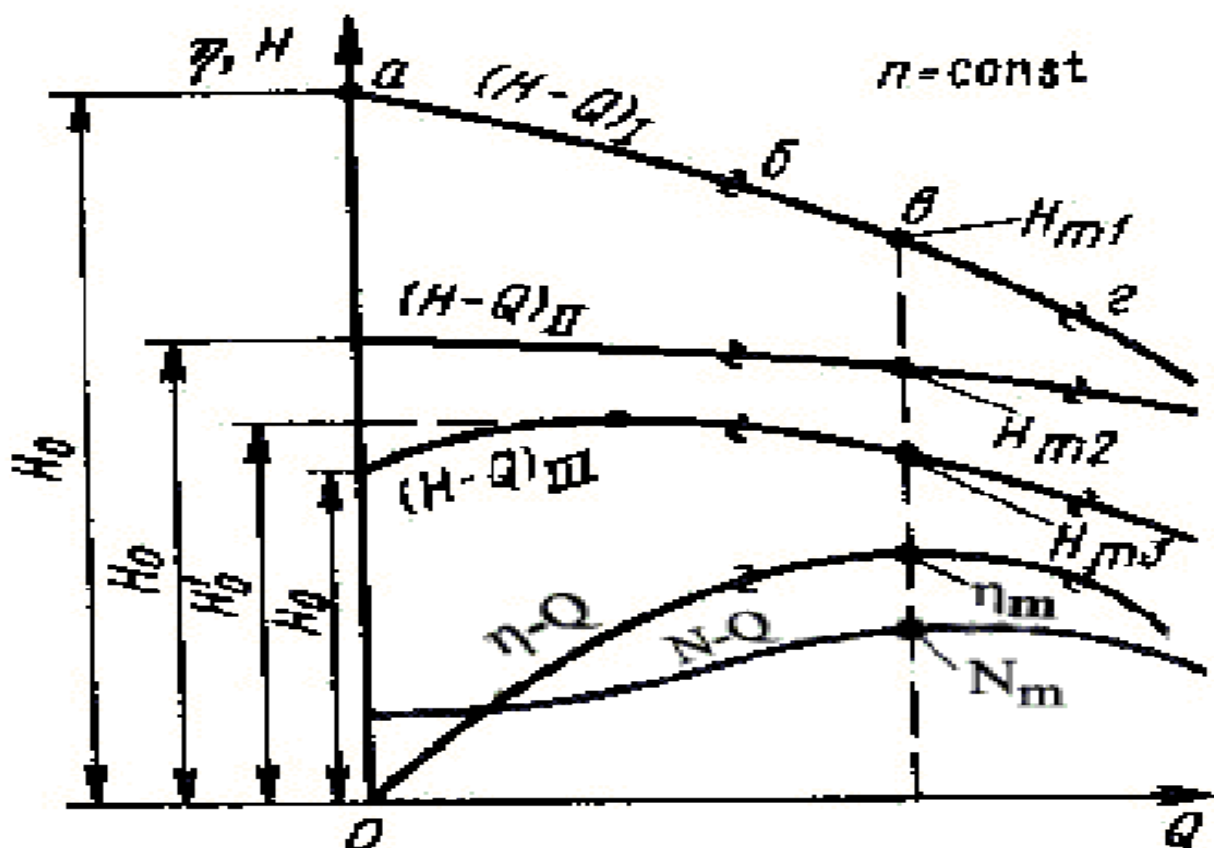
Markazdan qochma nasoslarning $Q=0$ bo'lganda maksimum bosimga ega bo'lib, so'ngra, suyuqlik sarfining oshib borishi bilan, uzluksiz pasayib boruvchi tik va qiya (rasm 7.40 – $(N-Q)_I$ va $(H-Q)_{II}$) hamda suyuqlikning ma'lum bir miqdorigacha ko'tarilib maksimum bosimga ega bo'luvchi va so'ngra pastlab boruvchi (rasm 7.40 $(H-Q)_{III}$) bosim xarakteristikalari mavjud.



7.40-rasm. markazdan qochma nasosning laboratoriyadagi sinovlar natijasida olingan bosim va energetik xarakteristikalar. O – sinovlar natijasida olingan nuqtalar.

Ma'lumki, nasoslarni faqat yuqori f.i.kida ishlatish tavsiya qilinadi. Demak, nasoslar F.I.Kining hamma qismida emas, balki yo'l quyiladigan F.I.Ki qismida ishlashi lozim ekan.

Nasosni ishlash soxasini belgilovchi oraliq, ishchi oraliq deyiladi (rasm 7.41, b – g oralik belgisi). Bu oraliq, nasoslar katalogidagi xarakteristikalarda, to'kinli chizik bilan belgilab kuyiladi. Ishchi oralik, ikki tomonga ham 7-10 foizga pasayishi mumkin.



7.41-rasm. Markazdan qochma nasos bosim xarakteristikasining turlari.

b-g – ishchi oraliq; b – F.I.K.ning ko‘tarilishida ishchi oraliqning boshlanishi; v – ishchi oraliqdagi maksimal miqdor; g – F.I.K.ning pasayishida ishchi oraliqning kamayish chegarasi; H_{m1} , H_{m2} , H_{m3} , va N_m – F.I.K.ning maksimal miqdoriga mos ko‘rsatkichlar.

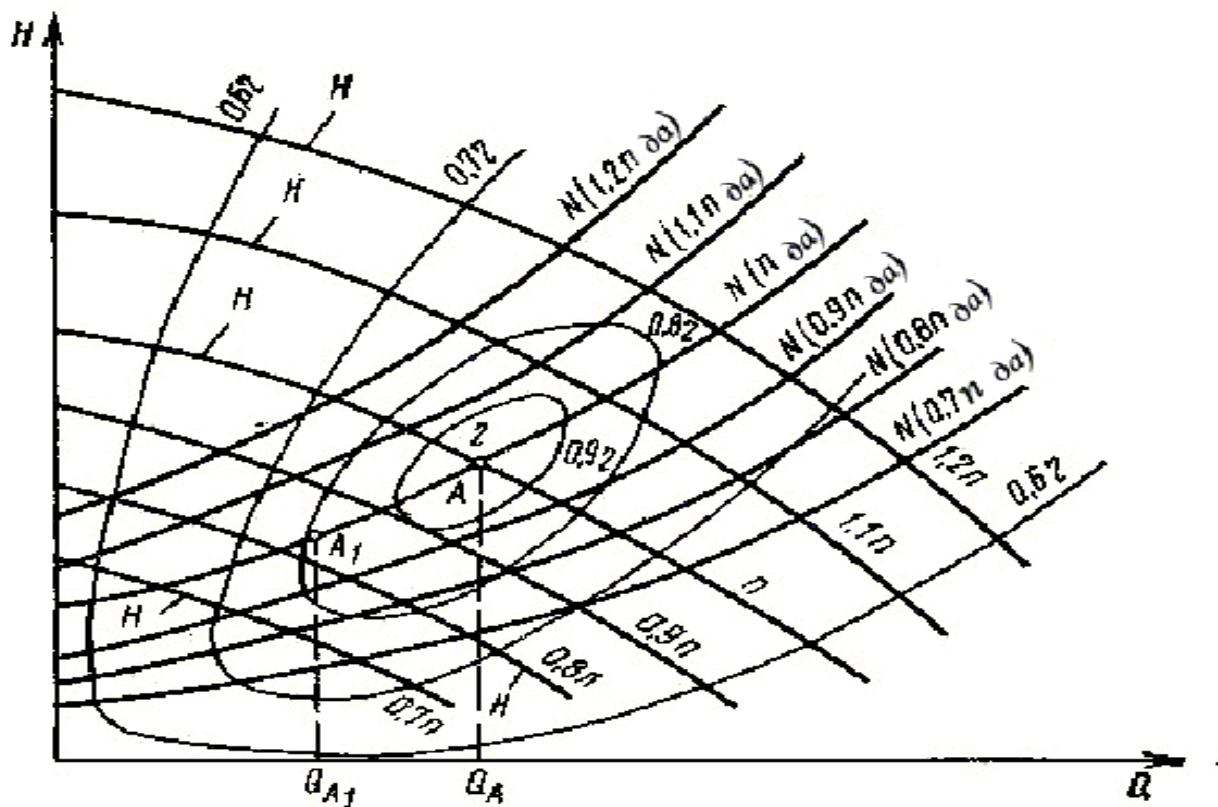
Bosim xarakteristikalarining tikligi quyidagi formula bilan aniqlanadi (7.41-rasm) .

$$K_t = \frac{H_0 - H_m}{H_m} 100 \% \quad (7.88)$$

bunda: H_m – F.I.K.ning maksimum miqdoridagi bosim; $H_0 - Q = 0$ bo‘lgandagi bosim; $(H - Q)_{III}$ xarakteristikasi uchun - $H_0 = H^1_0$.

Bosim xarakteristikalarining qiyaligi 8 – 12 % bo‘lsa nishab, 25-30 % bo‘lsa, tik hisoblanadi. Qiyalikning o‘rtacha miqdori 12 – 25 % normal qiyaliq hisoblanadi. Bosim xarakteristikalarining turlari, nasoslarni ekspluatasiya qilish sharoitiga qarab tanlanadi (manbadagi suyuqlik sathining o‘zgarib turishi, suyuqlik sarfining doimiy bo‘lishi va boshqalar) . Bosim xarakteristikasining qiyaligiga, tez yurish koeffisienti – n_s sezilarli darajada bog‘liqdir.

Quvvat xarakteristikalarining shakllari chiqish burchagiga – β_2 ham juda bog‘liqdir: $\beta_2 \geq 90^\circ$ bo‘lsa, suyuqlik sarfining oshishi bilan quvvat ham ko‘payib boradi; $\beta_2 < 0^\circ$ bo‘lganda esa, suyuqlik sarfining ma‘lum miqdorida quvvat maksimum miqdorga erishadi, so‘ngra kamayib boradi (rasm 7.41) .

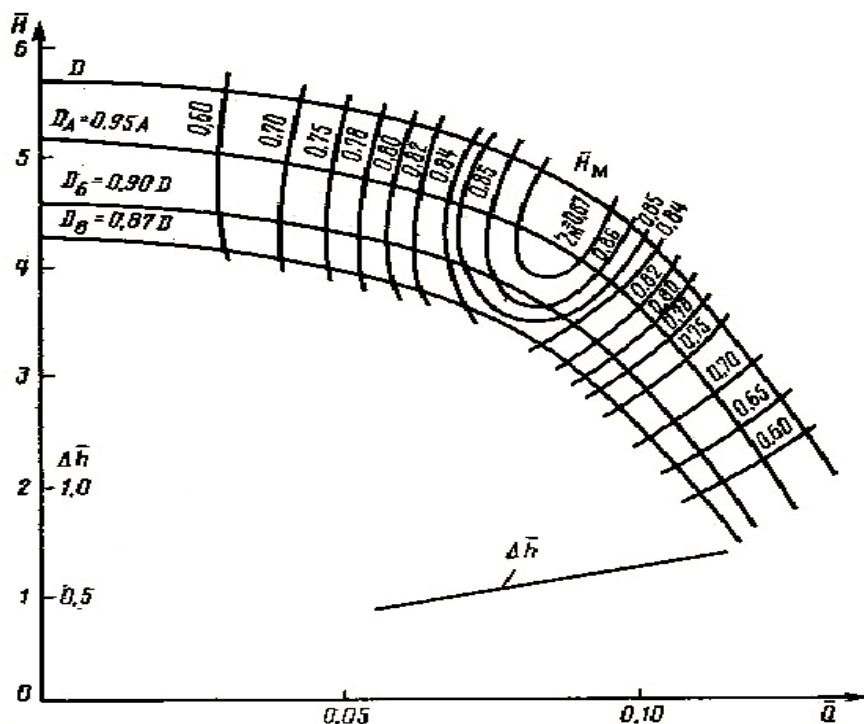


7.42-rasm. Markazdan qochma nasosning universal xarakteristikallari.

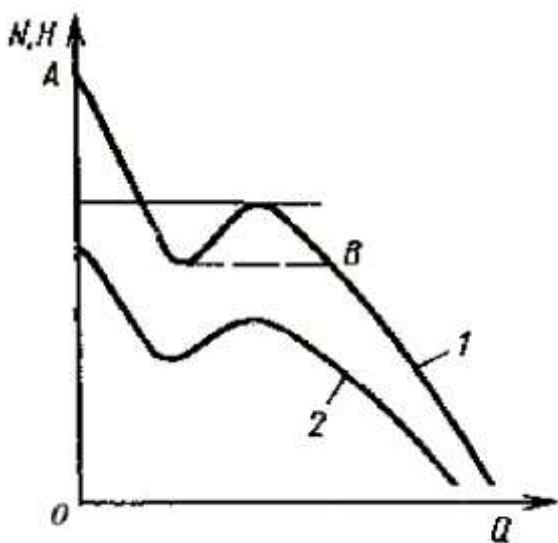
Quvvat xarakteristikalarining ko‘rinish ham, tez yurish ko‘ffisientiga bog‘liqdir. Tez yurish ko‘ffisienti katta bo‘lgan nasoslarda, uncha katta bo‘lmagan tez yurish ko‘ffisientli nasoslarga qaraganda, suyuqlik sarfining ko‘payishi bilan quvvat oshib boradi. Ammo, bu holat, suyuqlik sarfining ma‘lum miqdorigacha davom etib, so‘ngra, suyuqlik sarf oshishi bilan quvvat kamayib boradi (7.41-rasm). Parrakli nasoslarda, tez yurish ko‘ffisienti $n_s=300 \text{ ayl/minut}$ bo‘lganda, quvvat deyarli suyuqlik sarfiga bog‘liq bo‘lmaydi, $n_s > 300 \text{ ayl/minut}$ bo‘lgan nasoslarda esa suv sarfi ko‘payishi bilan quvvat kamayib boradi.

Universal va o‘lchov birliklarisiz xarakteristikalar. Markazdan qochma gorizontall nasoslarning texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlari, ularning xarakteristikalariga qarab topilsa, yirik vertikal nasoslar uchun universal va o‘lchov birliklarisiz xarakteristikalaridan foydalaniladi.

Har xil aylanish tezliklaridagi markazdan qochma nasoslarning universal xarakteristikallari 7.42-rasmda keltirilgan, 7.43-rasmda esa, $n_s=120 \text{ ayl/minut}$ va normal diametrli – D_2 , hamda $0,95D_2$; $0,9D_2$; va $0,87 D_2$ miqdorda yo‘nilgan diametrli ish g‘ildiraklarining o‘lchov birliklarisiz xarakteristikallari keltirilgan.



7.43-rasm. Markazdan qochma nasosning o'lchov birliklarisiz xarakteristikallari.



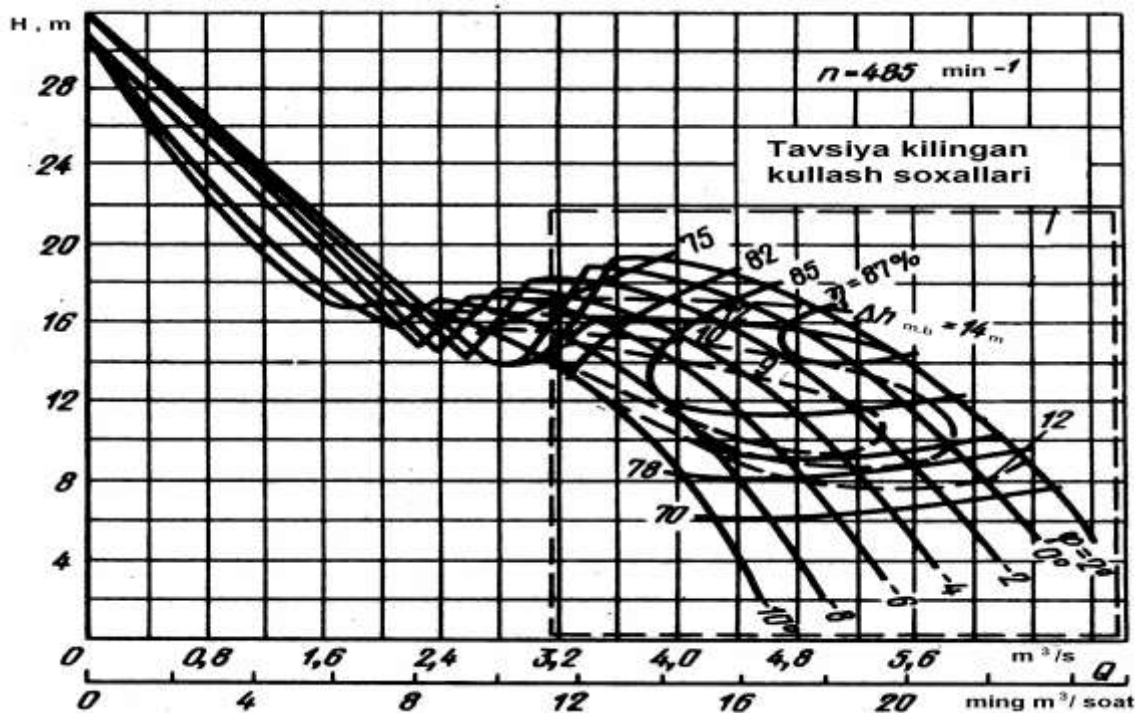
7.44-rasm. O'qiy nasosning xarakteristikallari

O'qiy nasoslarning xarakteristikallari

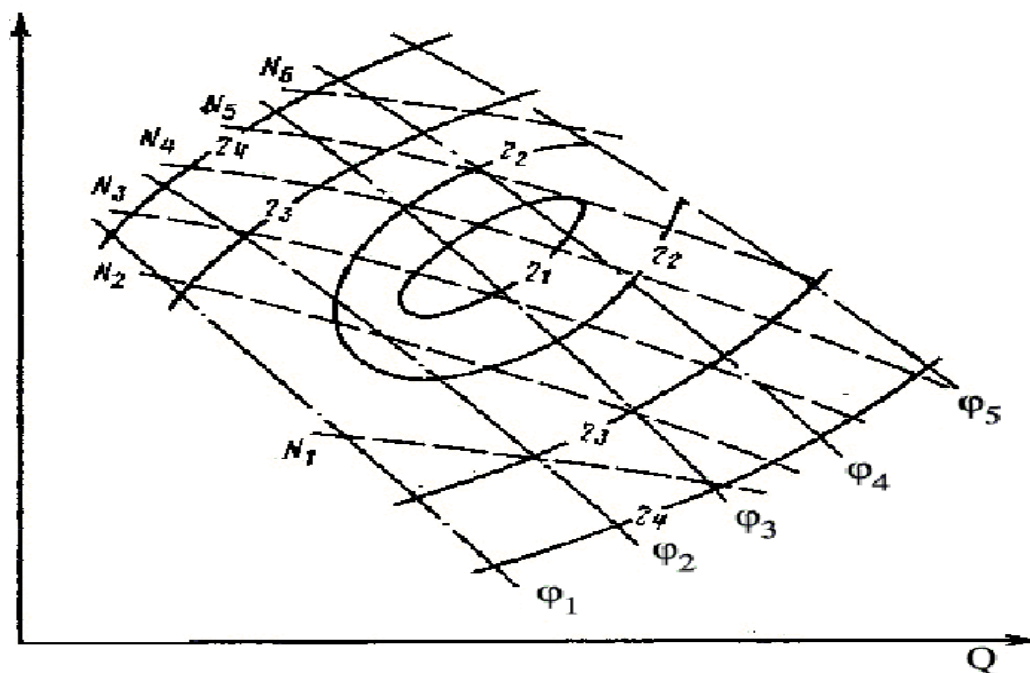
Suyuqlik sarfi, noldan ma'lum miqdorga ko'payguncha, nasosning bosimi va quvvati kamayib boradi (rasm 7.44.) Sarfning keyingi ko'payishi bilan, avval bosim va quvvatning ko'payishi, keyin esa, ularning yana kamayib borishi kuzatiladi. Bosim va quvvatning o'zga-rib turishi, nasosning oz suv uzatish oralig'iga to'g'ri keladi. Bu (A-B) oraliqda, nasos birday ishlamay, o'zgarib ishlab turadi. shuning uchun a-b oraliqni, nasosning **ishlamaydigan oralig'i** deyiladi.

Berilgan sarf – Q va bosimga – H mos, aniq parametrlil nasoslarni tanlash, ko'p hollarda mumkin bo'lmaydi.

Buning uchun nasoslarning xarakteristikalarini o'zgartirish kerak. O'qiy nasoslarning xarakteristikallari, ish g'ildiragi parraklarining o'rnatish burchagini kamaytirish yoki ko'paytirish yo'li bilan o'zgartiriladi. O'qiy nasosning xarakteristikalarini o'zgartirish uchun, uning parraklari o'rnatilishi burchaklarini kamaytirish yoki ko'paytirish kerak.



7.45-rasm. OP2-110 markali o'qiy nasosning xarakteristikasi



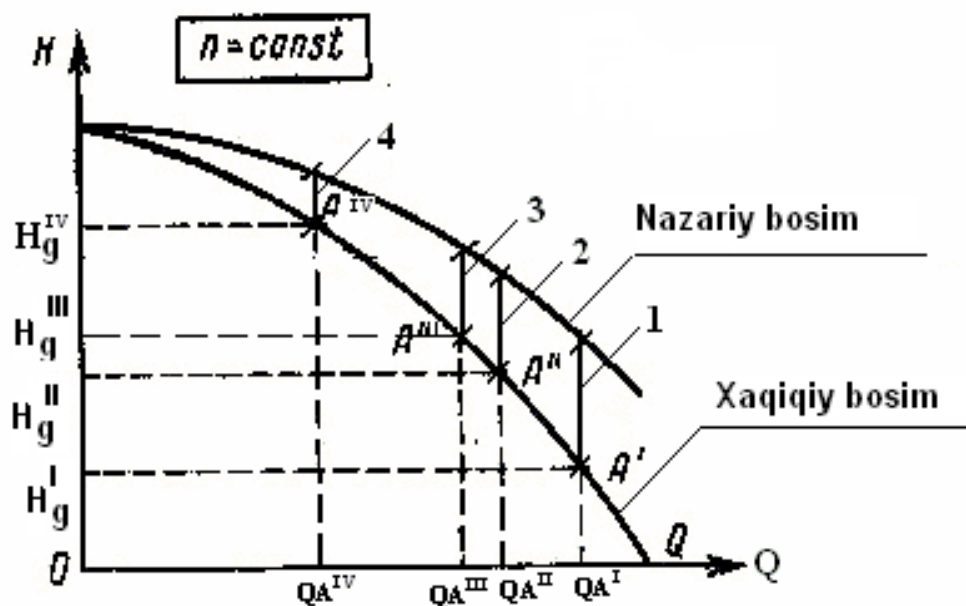
7.46-rasm. O'qiy nasoslarning universal xarakteristikalari

7.45-rasm. da OP2-110 markali o'qiy nasosning xarakteristikasi, rasm 7.46. da esa o'qiy nasoslarning universal xarakteristikalari keltirilgan.

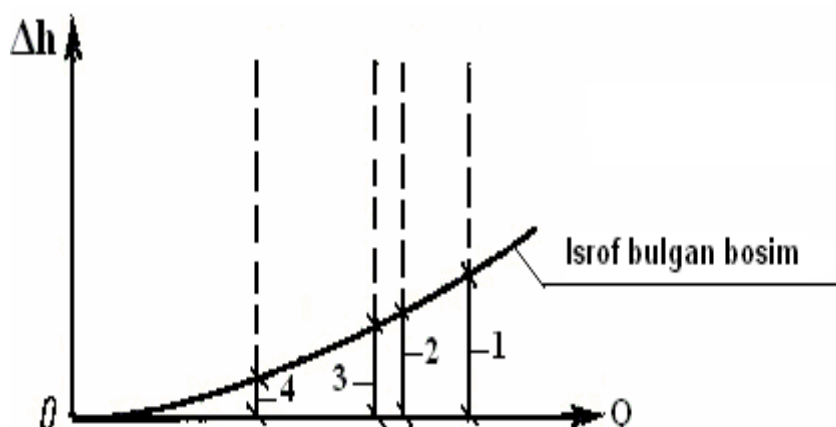
Ishchi xarakteristikalari grafiklari, nasoslarni zavod laboratoriyalarida sinash natijalariga qarab quriladi va ularning pasportlarida keltiriladi.

7.4.2. Nazariy va xaqiqiy bosim xarakteristikalari

Nazariy bosim deb, gidravlik qarshiliklar yo‘q deb faraz qilingan nasosning bosimiga aytiladi (rasm 7.47), ya’ni



a)



b)

7.47-rasm. Nazariy, xakikiy (a) va isrof bo‘lgan (b) bosim xarakteristikalari.
1, 2, 3 va 4 – mos xolda, QA^I , QA^{II} , QA^{III} va QA^{IV} suyuqlik sarflarida isrof bo‘lgan bosim miqdorlari.

$$H_n = H_g + \sum \Delta h \quad (7.89)$$

Nasosning **xaqiqiy bosimi** deb, nazariy bosimdan gidravlik qarshiliklar natijasida yo‘qotilgan bosim ayrimasiga aytiladi (rasm 7.47).

$$H_n = H_g - \sum \Delta h \quad (7.90)$$

4.8 – rasmdagi A^I , A^{II} , A^{III} va A^{IV} ishchi nuqtalari, har xil ko‘tarish balandliklariga – N_g^I , N_g^{II} , N_g^{III} va N_g^{IV} mos keladi.

7.4.3. Nasoslarni quvurlar bilan birgalikda ishlashi

Ishchi nuqta va ishchi oraliq

Ma'lumki, nasosning to'la bosimi, suv ko'tarish geometrik balandligi bilan, quvurlar sistemasining gidravlik qarshiliklari va yig'indisiga teng.

$$H = H_{\text{geom}} + \Sigma \Delta h \quad (7.90)$$

bunda: N_{geom} – yuqori va pastgi b'eflar suv sathlari orasidagi geodezik balandlik;

$\Sigma \Delta h$ – so'rish va bosim quvurlarida, mahalliy hamda uzunlik buyicha gidravlik qarshiliklar natijasida, isrof bo'lgan bosim miqdori.

Quvurdagi gidravlik qarshiliklarni, quyidagi formula bilan aniqlash mumkin.

$$\Sigma \Delta h = \left(\Sigma \xi + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{V^2}{2g}, \quad V = \frac{Q}{F}$$

ekanligini xisobga olsak.

$$\Sigma \Delta h = \left(\Sigma \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{Q^2}{2gF^2} \quad (7.91)$$

Berilgan quvurlar sistemasi uchun L , D , F , $2g$ va λ o'zgarmas bo'lganligi sababli,

$$\left(\Sigma \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{1}{2gF^2} = K$$

deb belgilab olamiz. Unda 7.91 formula,

$$\Sigma \Delta h = KQ^2 \quad (7.92)$$

holatga keladi.

7.89 formulaga 7.92 formulani qo'ysak,

$$H = H_{\text{geom}} + KQ^2 \quad (7.93)$$

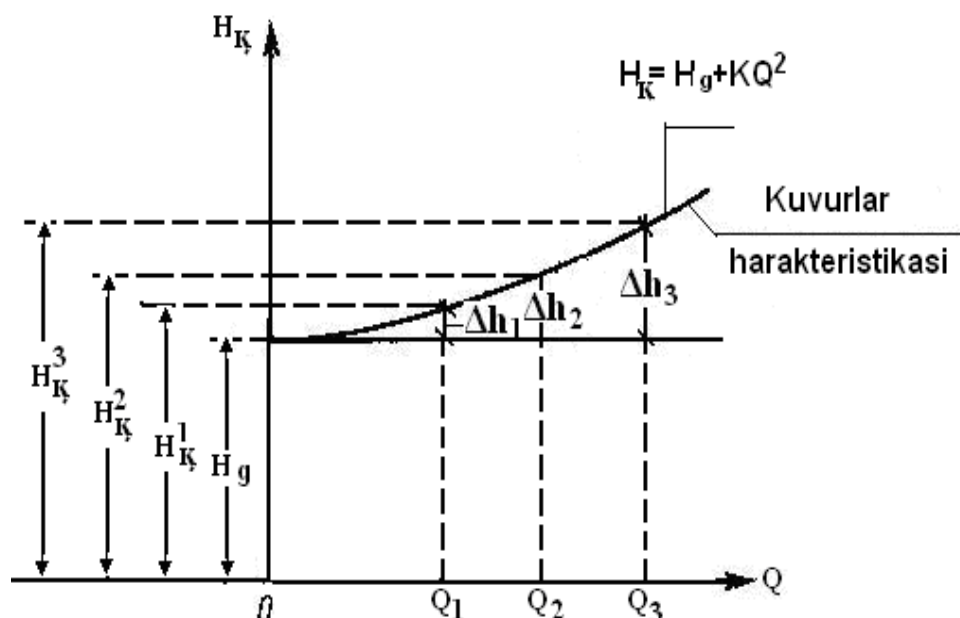
– quvurlar sistemasining bosim xarakteristikasi formulasi hosil bo'ladi.

Formulalardagi: ξ – maxaliy qarshiliklar koeffitsienti; λ – quvurlarning gidravlik qarshiliklar koeffitsienti; L va D – quvurlarning uzunligi va diametri; F – quvo'ring jonli kesim yuzasi; K – quvo'ring o'lchamlari va materiallarini ifodalaydigan proporsionallik koeffitsienti.

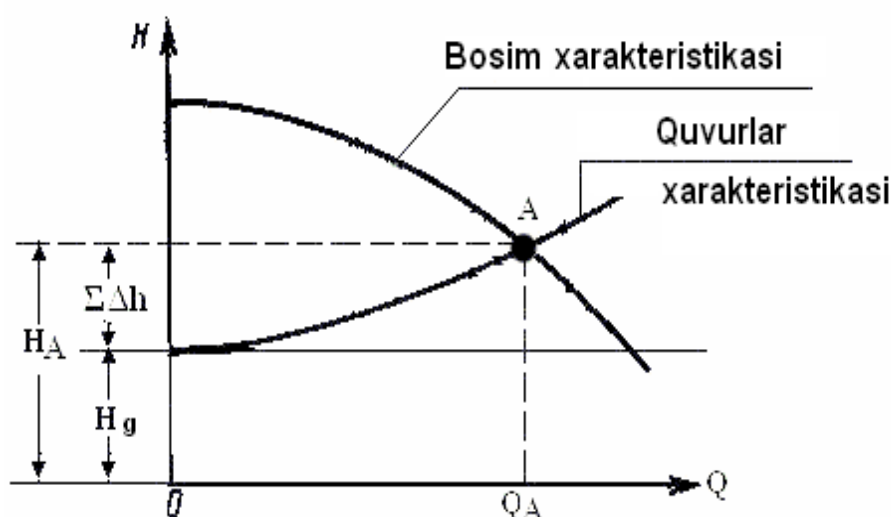
Suv sarfining har xil miqdorlarida, 7.93 formula bilan hisoblangan nuqtalar orqali o'tkazilagan egri chiziq, **quvurlar xarakteristikasi** deyiladi (rasm 7.48) .

Hosil bo'lgan egri chiziq (quvurlar xarakteristikasi) bilan, nasosning bosim xarakteristikasi kesishgan (a) nuqta, nasos qurilmasining **ish nuqtasi** deyiladi. (rasm – 7.49) .

Ma'lumki nasoslarni faqat yuqori foydali ish koeffisientlarida ishlatish tavsiya qilinadi. Demak, nasoslar F.I.K. – ning hamma qismida emas, balki yo'l quyiladigan F.I.K. qismida ishlashi lozim ekan.



7.48-rasm. Quvurlar xarakteristikasi.



7.49-rasm. Nasos qurilmasining ishchi nuqtasini aniqlash xarakteristikalari.

7.4.4. Nasoslar ishini boshqarish

Har bir nasos normal ish rejimida, o'zining bosim xarakteristikasi bilan, quvurlar sistemasiga xarakteristikasi kesishgan ishchi nuqtasiga mos keladigan suv sarfini uzatib turadi. Ammo ba'zi vaqtlarda, nasos qurilmasi uzatayotgan suv sarfini o'zgartirishga to'g'ri keladi.

Nasos qurilmasining suv sarfini o'zgartirish uchun quvurlar sistemi yoki nasosning ishchi xarakteristikalarini sun'iy ravishda o'zgartirish kerak.

Nasos va quvurlar konstruksiyasini o'zgartirmasdan ularning xarakteristikalarini o'zgartirish nasos qurilmasining ishini tartibga solish deyiladi.

Tartibga solishning ikki xil usuli bor:

1. Son jixatidan – $n = \text{const.}$ bo'lib, suyuqlik sarfi o'zgartiriladi.

2. Sifat jihatidan – aylanishlar soni, yoki ish g'ildiragining tashqi diametri ozgina o'zgartiriladi.

Nasos qurilmasining ishini son jihatidan tartibga solish

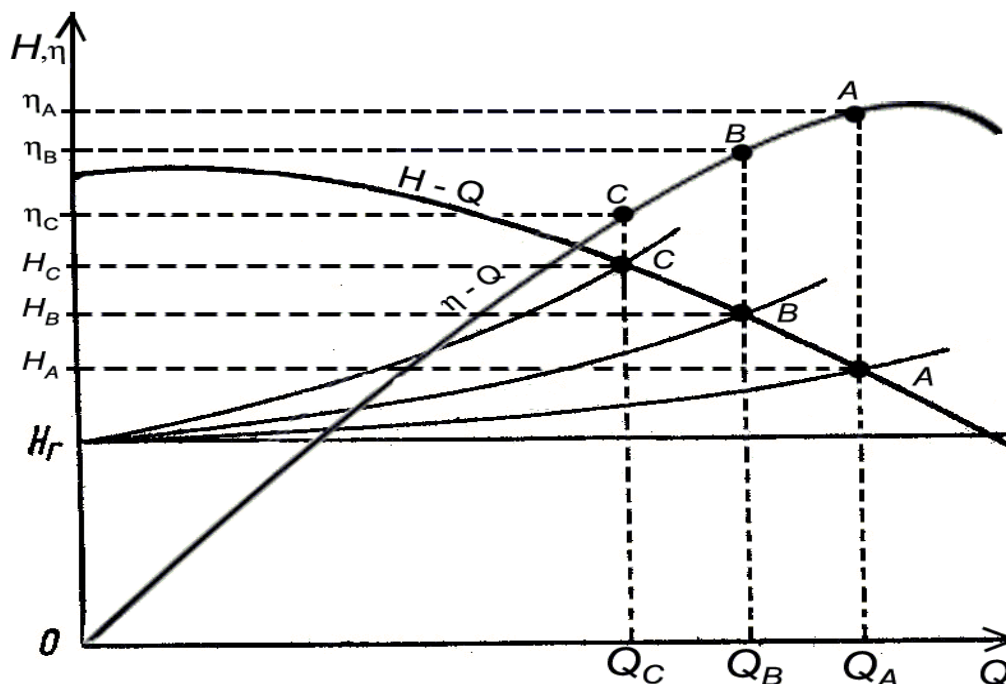
Zadvijkani yopish yo'li bilan nasos ishini tartibga solish;

Bu usulda asosan, quvurlar sistemasining qarshiligi ko'paytiriladi, ya'ni zadvijkani ma'lum darajada yopish kifoya qiladi. 7.50 – rasmda ko'rinib turibdiki, zadvijkani yopishni ko'paytirganimiz sari, qarshilik ko'payib borayapti va nasosning suv sarfi kamayib ketayapti, ya'ni

$$H_C > H_B > H_A; \quad Q_A > Q_B > Q_C; \quad \eta_A > \eta_B > \eta_C; \quad (7.94)$$

Bu usul juda oddiy, qo'shimcha asbob-uskunalar talab qilinmaydi, ammo nasosning F.I.K. juda kamayib ketadi. Bu usulni faqat markazdan qochma nasoslar uchun qo'llash mumkin, chunki bu nasoslarda, qarshiliklar ko'payib suv sarfi kamaygan sari, quvvat ham kamayib boradi. O'qiy nasoslarda esa, qarshilik ko'payib suv sarfi kamayishi natijasida, quvvat oshib boradi va bu hodisa dvigatelning zo'riqishga olib keladi.

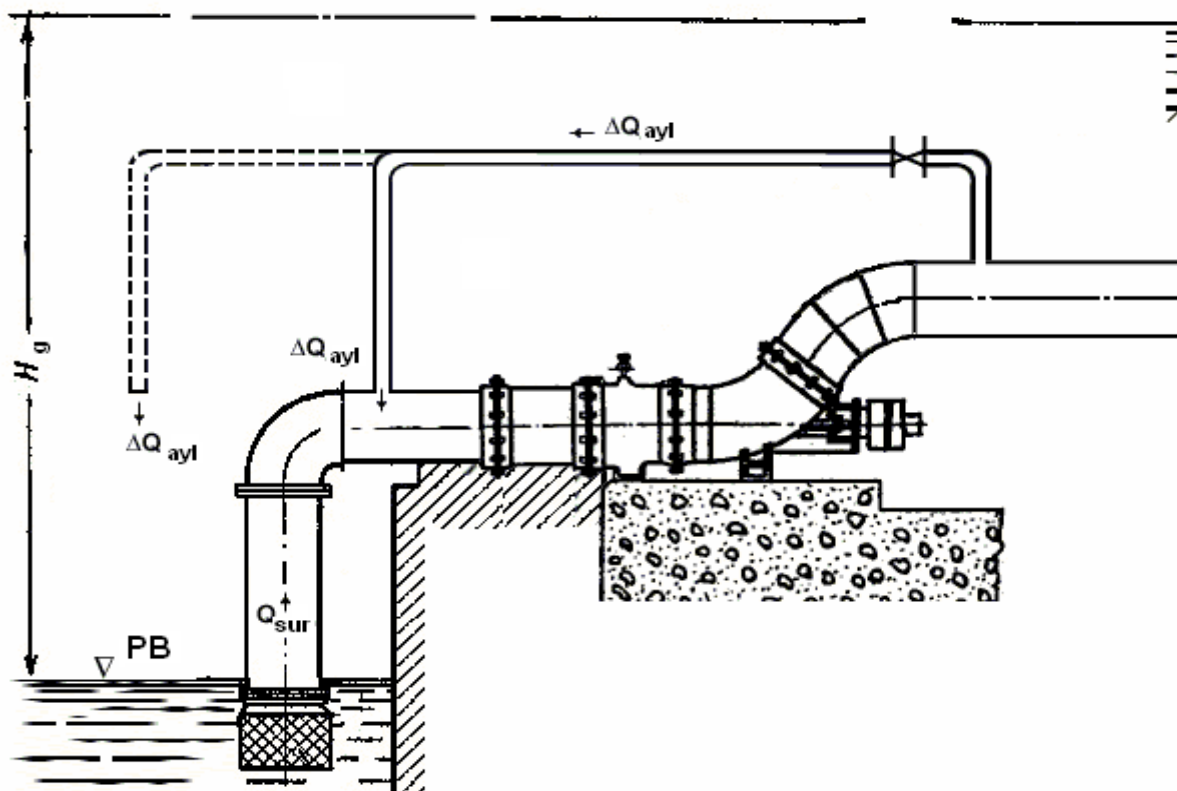
Bu usulda tartibga solish, so'rish, yoki bosim quvurlariga o'rnatilgan zadvijkalar orqali amalga oshirilishi mumkin.



7.50-rasm. Zadvijka bekitilib borganda nasos xarakteristikalarini va quvurlar xarakteristikasining o'zgarishi

Suv sarfining bir qismini bosimli quvurdan chiqarib yuborish yo'li bilan nasos ishini tartibga solish.

Bu usul qo'llanganda nasos ko'tarib berayotgan bir qism suv, bosim quvurga ulangan qo'shimcha quvurlar va undagi zadvijkalar orqali so'rish quvuriga o'tkaziladi yoki suv manbasiga qayta tashlab yuboriladi (7.51.) .

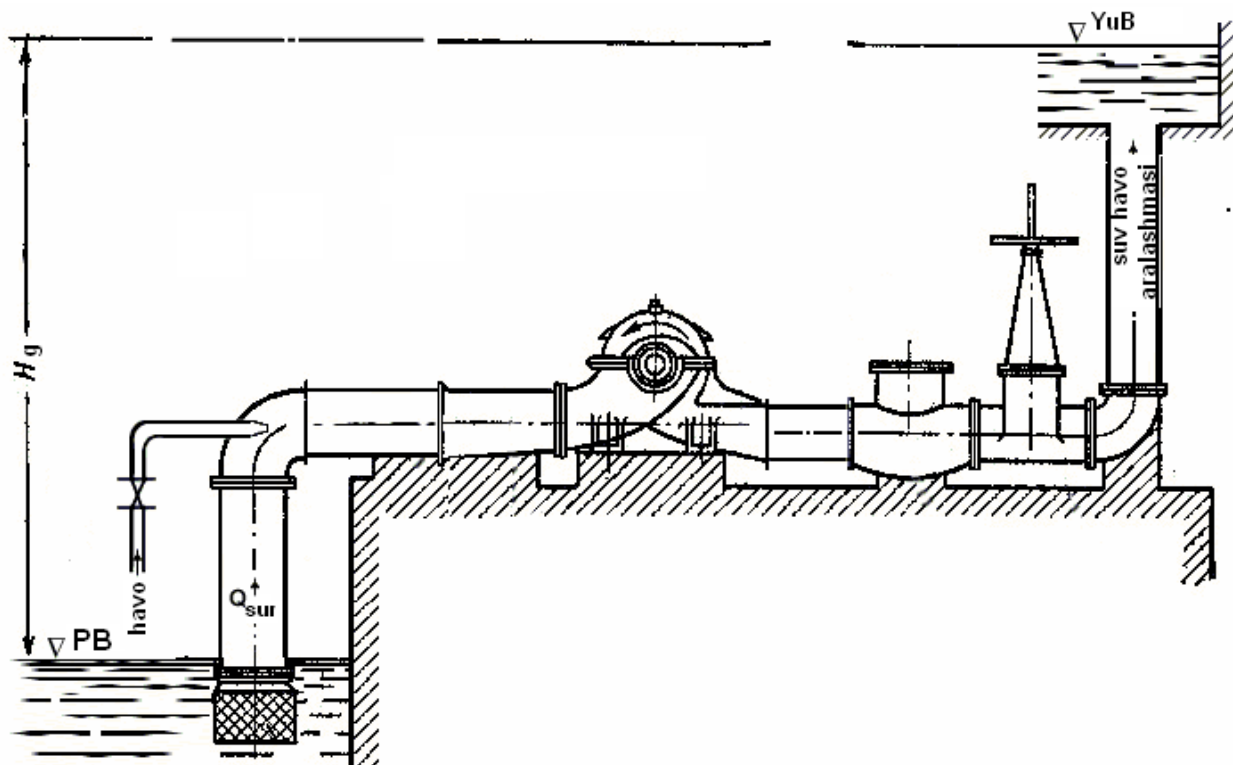


7.51-rasm. Ortiqcha suvni so‘rish quvuri yoki pastki b‘efga tashlab yuborish sxemasi.

Bu usul asosan, o‘qiy nasoslarda qo‘llaniladi. Chunki, o‘qiy nasoslarda suv sarfi oshishi bilan, quvvat kamayib boradi. Markazdan qochma nasoslarda esa, suv sarfining ishchi oralig‘idagi miqdorlarida, quvvat oshib boradi. Shuning uchun, bu usulni ularda qo‘llash tavsiya qilinmaydi. So‘rish quvuriga kelib qo‘shilayotgan suv, nasosda yuz beradigan kavitatsiya jarayonini kamaytirishi mumkin. Ammo, ko‘shimcha quvurlar sistemasi va asbob–uskunalar qo‘llanishi, nasos ko‘tarib berayotgan suvning foydasiz aylanib turishi natijasida F.I.K. kamayib ketishi va boshqa qulaysizliklari uchun, bu usul ko‘p qo‘llanilmaydi.

- **So‘rish quvuriga havo yuborish orqali nasoslar ishini tartibga solish.**

Bu usul yuqoridagi usullarga qaraganda ancha qulayroq hamda, tejamliroqdir. Biroq so‘rish trubasiga yuborilayotgan havo nasosda hosil bo‘ladigan kavitatsiya xodisasini tezlashtirib yuborishi sababli, xavfliroqdir. o‘tkazilgan tajribalarga asosan, so‘rish quvuridan yuborilgan 1 foiz havo, suyuqlik miqdorini 10 foizga kamaytirar ekan. Shuning uchun, bu usulda ekspluatasiya qilinayotgan nasos qurilmalari doimo kuzatib turilishi kerak. Havo aralashgan suvni, ichimlik suvi bilan ta‘minlash sistemalarida qo‘llash tavsiya qilinmaydi.



7.52-rasm. Soʻrish quvuriga havo yuborish orqali nasoslar ishini tartibga solish sxemasi.

Yuqoridagi usullardan tashqari, suv sarfini tartibga solish – katta oʻqiy nasoslarning ish gʻildiragi parraklarini va katta markazdan qochma nasoslarda esa, yoʻnaltiruvchi apparatning parraklarini burash orqali amalga oshiriladi.

Shunday qilib, nasoslar ishini son jihatidan tartibga solish oddiy boʻlgani bilan juda zararlidir, chunki bu usullarda bekorga bosim va quvvat isrofi hamda, nasoslar qismlarining ishdan chiqish hollari yuz beradi.

Nasos qurilmasining ishini sifat jihatidan tartibga solish

Sifat jihatidan tartibga solish agregatlarning aylanishlar sonini oʻzgartirish va ish gʻildiragini qisman kesish yoʻli bilan amalga oshiriladi.

• ish gʻildiragining aylanishlar sonini oʻzgartirish orqali tartibga solish

Bu usul eng tejamli usul hisoblanadi. ish gʻildiragi aylanishlar sonini quyidagi usullar boʻyicha oʻzgartirish mumkin.

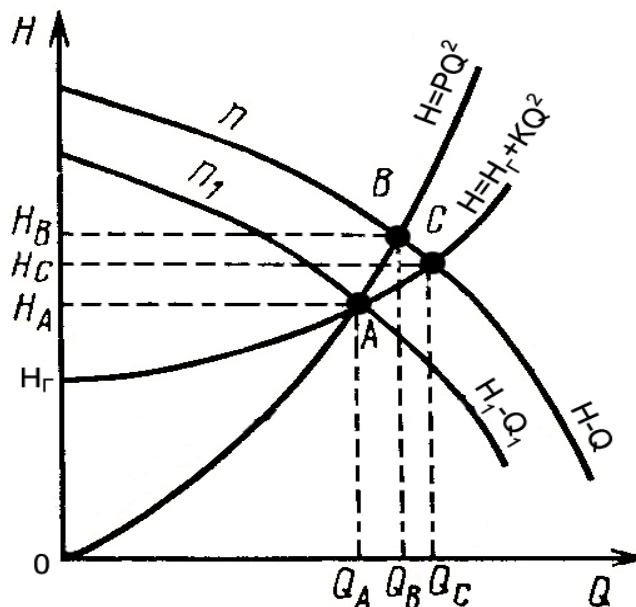
1. Aylanishlar soni oʻzgarib turuvchi dvigatelga nasosni ulash orqali.
2. Aylanishlar sonini oʻzgartirib beruvchi gidromufta va elektromagnit mufta bilan nasos va dvigatelni ulash orqali.
3. Nasosga ulangan dvigatelning aylanishlar sonini qoʻshimacha qarshilik kiritish va uni reostat bilan oʻzgartirib turish orqali.

Aylanishlar soni oʻzgarishi bilan nasosning suv sarfi va bosimli, yaʼni xarakteristikalarini oʻzgarib ketadi.

Nasosning xarakteristikalarini yangi aylanishlar soniga qayta hisoblashda oʻxshashlik formulalaridan foydalanamiz.

Masalan, n aylanishlar sonida nasosning ishchi nuqtasi, “C” bo‘ladi. Ammo bizga Q_A suv sarfi kerak. Q_A suv sarfiga mos nuqtani quvurlar sistemasi xarakteristikasidan topamiz. bu – nasosning aylanishlar soni noma’lum bo‘lgan “A” ishchi nuqtasidir.

A nuqtadagi yangi aylanishlar sonini topish uchun, har bir nuqtada $H/Q^2 = \text{const}$ ekanligini hisobga olib, koordinata boshi va “A” nuqtadan, $H = PQ^2$ parabola o‘tkazamiz. Parabola nasos bosim xarakteristikasini “B” nuqtada kesib o‘tadi.



7.53-rasm. Aylanishlar sonini o‘zgar-tirish orqali nasoslar ishi-ni tartibga solish grafigi.

“B” nuqtadagi aylanishlar soni ma’lum. “B” nuqtadagi aylangishlar soniga nisbatan “A” nuqtadagi yangi aylanishlar sonini quyidagi formulalar yordamida topamiz:

$$n_A = n_B \frac{Q_A}{Q_B} \text{ yoki } n_A = n_B \sqrt{\frac{H_A}{H_B}} \quad (7.95)$$

Topilgan yangi aylanishlar soniga mos nasosning ishchi xarakteristikalarini, quyidagi qayta xisoblash formulalari orqali topamiz:

$$Q_A = Q_B \frac{n_A}{n_B}; \quad H_A = H_B \left(\frac{n_A}{n_B} \right)^2; \quad (7.96)$$

“A” nuqtadan o‘tadigan nasosning yangi aylanishlar soniga mos bosim xarakteristikasini chizamiz.

• **ish g‘ildiragini kesish yo‘li bilan tartibga solish.**

Aylanishlar sonini o‘zgartirish imkoni bo‘lmasa nasoslar ishini ish g‘ildiragi tashqi diametrini kesish yo‘li bilan tartibga solinadi.

Nasosning harakteristi-kalarini yangi ish g‘ildiragi diametriga qayta hisoblashda o‘xshashlik formulalaridan foydalanamiz.

Ish g‘ildiragi qirqilgan-dan so‘ng nasosning hamma ishchi xarakteristikalari o‘zgarib ketadi. Nasoslar katalogida bir xil markadagi nasosning har xil diametrli ish g‘ildiragi uchun ishchi xarakteristikalari keltirilgan (aylanishlar soni bir xil) .

Ish g‘ildiragining qirqish o‘lchamlarini quyidagi formulalar bilan topamiz:

$$\frac{D_A^{\text{kes}}}{D_B^{\text{ber}}} = \frac{Q_A^{\text{kes}}}{Q_B^{\text{ber}}} \quad \text{бундан,} \quad D_A^{\text{kes}} = D_B^{\text{ber}} \frac{Q_A^{\text{kes}}}{Q_B^{\text{ber}}}; \quad (7.97)$$

$$\frac{D_A^{kes}}{D_B^{ber}} = \sqrt{\frac{H_A^{kes}}{H_B^{ber}}} \quad \text{бундан} \quad D_A^{kes} = D_B^{ber} \sqrt{\frac{H_A^{kes}}{H_B^{ber}}} \quad (7.98)$$

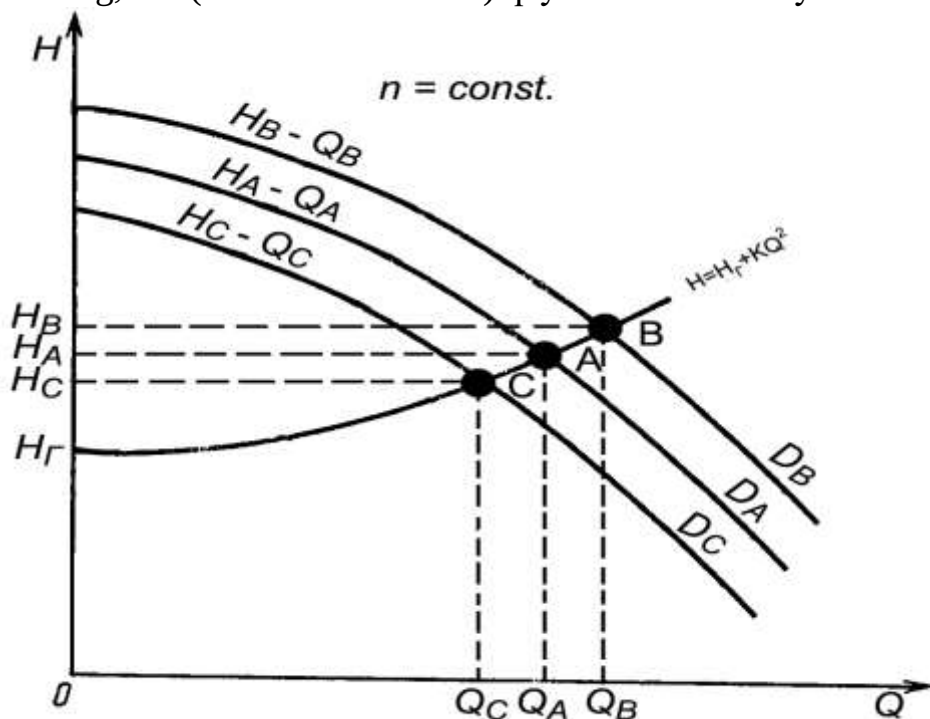
Ish g'ildiragi diametrining qirqimi kattaligi,

$$\Delta D = D_V^{ber} - D_A^{kes} \quad (7.99)$$

yo'l qo'yiladigan kesim kattaligi,

$$\Delta D \% = \frac{D_B^{ber} - D_A^{kes}}{D_A^{kes}} \cdot 100\% \quad \text{aniqlanadi.} \quad (7.100)$$

Shunday qilib, nasoslar ishini son jihatdan tartibga solishga qaraganda sifat jihatidan tartibga solish tejimli usullardan hisoblanadi. ammo ish g'ildiraklari kesilgandan so'ng, uni (xarakteristikalarini) qayta tiklab bo'lmaydi.



7.54-rasm. Ish g'ildiragi diametrini kesish orqali nasoslar ishini tartibga solish grafigi

7.4.5. Nasoslarning birgalikda ishlashi

Bir dona nasos agregati, kerakli miqdordagi suyuqlik sarfini etkazib beraolmasa, yoki kerakli balandlikka ko'tarib beraolmasa, unda bu miqdorlar bir necha nasoslar yordamida olinadi. Quyida bu holatlar uchun nasoslarning birgalikda ishlashini qarab chiqamiz.

Nasoslarning parallel ishlashi

Bir nasos kerakli suv sarfini uzata olmaganda, ikki yoki undan ortik nasosni ishlatishga to'g'ri keladi. Bir necha nasosning umumiy bosim quvuriga suv uzatishiga **nasoslarni parallel ishlatish** deyiladi.

Parallel ishlayotgan nasoslarni xarakteristikalari odatda bir xil bo'lishi kerak. Lekin har xil xarakteristikali nasoslarni ham parallel ishlatish mumkin.

- **bir xil xarakteristikali nasoslarning parallel ishlashi**

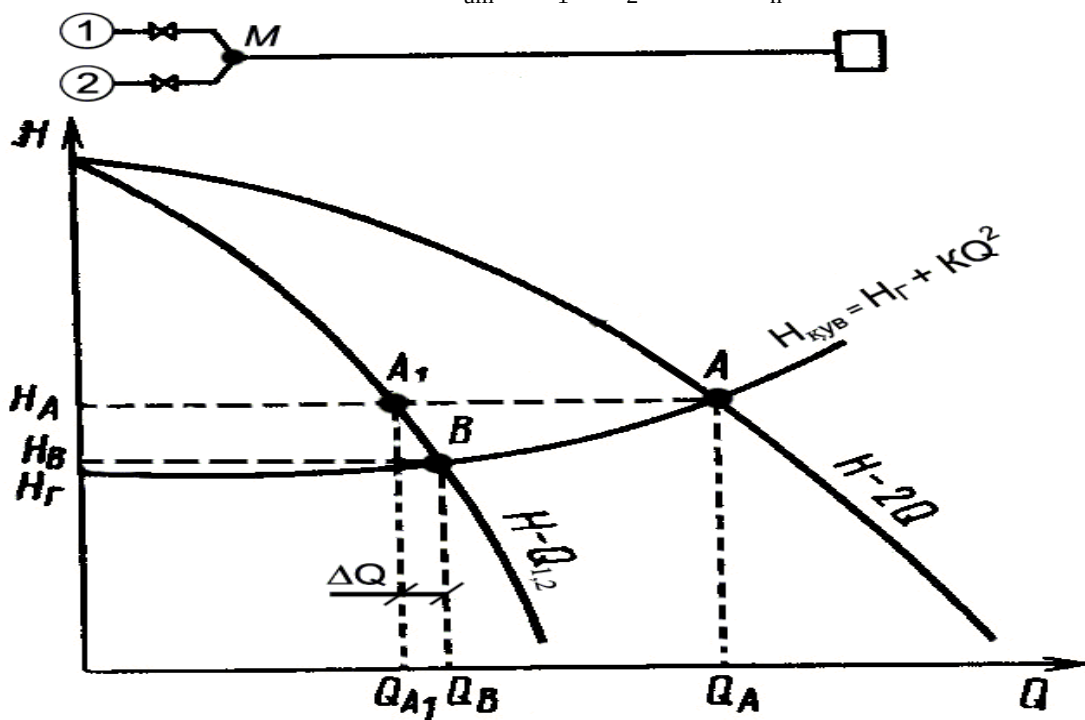
Bu holda, nasoslar-dan umumiy bosim quvurigacha bo'lgan masofa qisqa bo'lganligi sabab-li, ularda gidravlik qarshiliklar yo'q deb faraz qilamiz. Umumiy bosim quvuriga qo'shila-digan m nuqtada, ikkala nasos bosimi bir-biriga teng bo'ladi, ya'ni $N = N_1 = N_2$. Nazariy suv sarfi esa ikki barobar ko'payadi.

$$Q_{Quv} = Q_1 + Q_2 = 2Q$$

Parallel ulashning asosiy shartlari:

$$Q_{um} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$H_{um} = H_1 = H_2 = \dots = H_n$$



7.55-rasm. Bir xil xarakteristikali nasoslarning parallel ishlashi.

Gidravlik qarshiliklar natijasida, ma'lum miqdorda bosim yo'qotiladi. Shuning uchun, umumiy quvurdagi suv sarfi, ikkala nasosning suv sarflari yigindisiga teng emas, balki kichikroq bo'ladi.

$$Q_{Quv} = Q_1 + Q_2 < 2Q \text{ yoki } Q_{Quv} = (1,7 \dots 1,8) Q_{1,2}. \quad (7.101)$$

Umumiy bosimli quvurida tezlik oshganligi tufayli, gidravlik qarshiliklar ko'payadi, natijada ko'p miqdorda bosim yo'qotiladi. Yo'qotilgan umumiy bosimni topish uchun bir nasos ishlaganda yo'atilgan bosim miqdorini, parallel ishlayotgan nasoslar soni kvadratiga ko'paytirish kerak.

$$\Delta h_{nQi} = \Delta h_n \cdot i^2 \quad (7.102)$$

bunda: i – parallel ishlayotgan nasoslar soni.

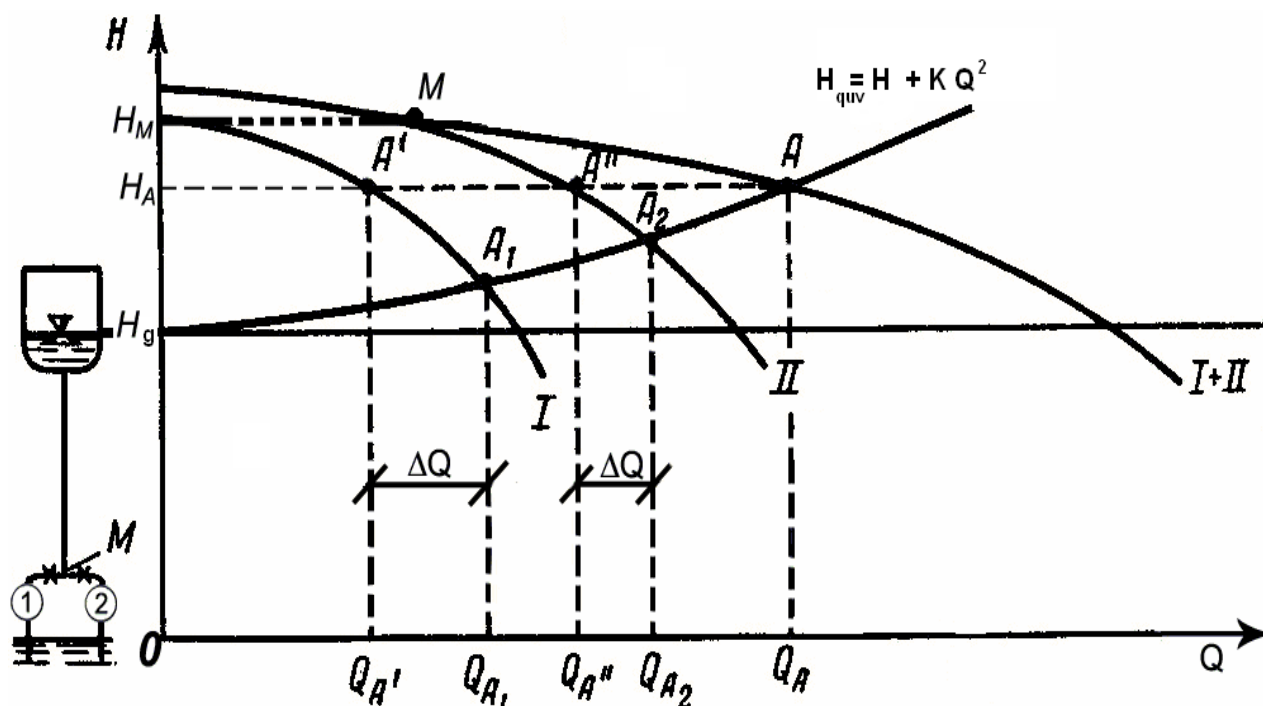
- **har xil xarakteristikali nasoslarning parallel ishlashi.**

Bu holda ham, nasoslardan umumiy bosim quvurigacha bo'lgan masofadagi gidravlik qarshiliklarni yo'q deb faraz qilamiz.

Ulardagi bosim bir xil bo'lmaganligi sababli, nasoslarni quyidagicha ishga tushiramiz: bosimi katta bo'lgan nasosni ishga tushiramiz, u suv hayday boshlaydi va suv sarfi oshgan sari bosimi kamayib boradi; ishlayotgan nasosning bosimi,

ishlab turgan, ammo zadviykasi yopiq turgan ikkinchi nasosning maksimal bosimiga tenglashgandan so'ng, zulfinni ochamiz. Shu (M) nuqtadan boshlab, ikkala nasos parallel ishlay boshlaydi, chunki $H = H_1 = H_2$.

Bosimi katta bo'lgan nasosdan uzatilayotgan suv, bosimi kichik bo'lgan nasosning bosim quvuri orqali teskari oqmasligi uchun, bosimi kichik quvurga teskari klapan o'rnatish kerak.



1. 56-rasm. Har xil xarakteristikali nasoslarning parallel ishlashi.

Nasoslar parallel ishlagunga kadar, umumiy quvurdan o'tayotgan suv sarfi, faqat bosimi katta bo'lgan nasosga tegishlidir. Umumiy (M) nuqtadan so'ng, nasoslar parallel ishlay boshlaydi va umumiy quvurdagi suv sarfi, ikki barobar ko'payadi.

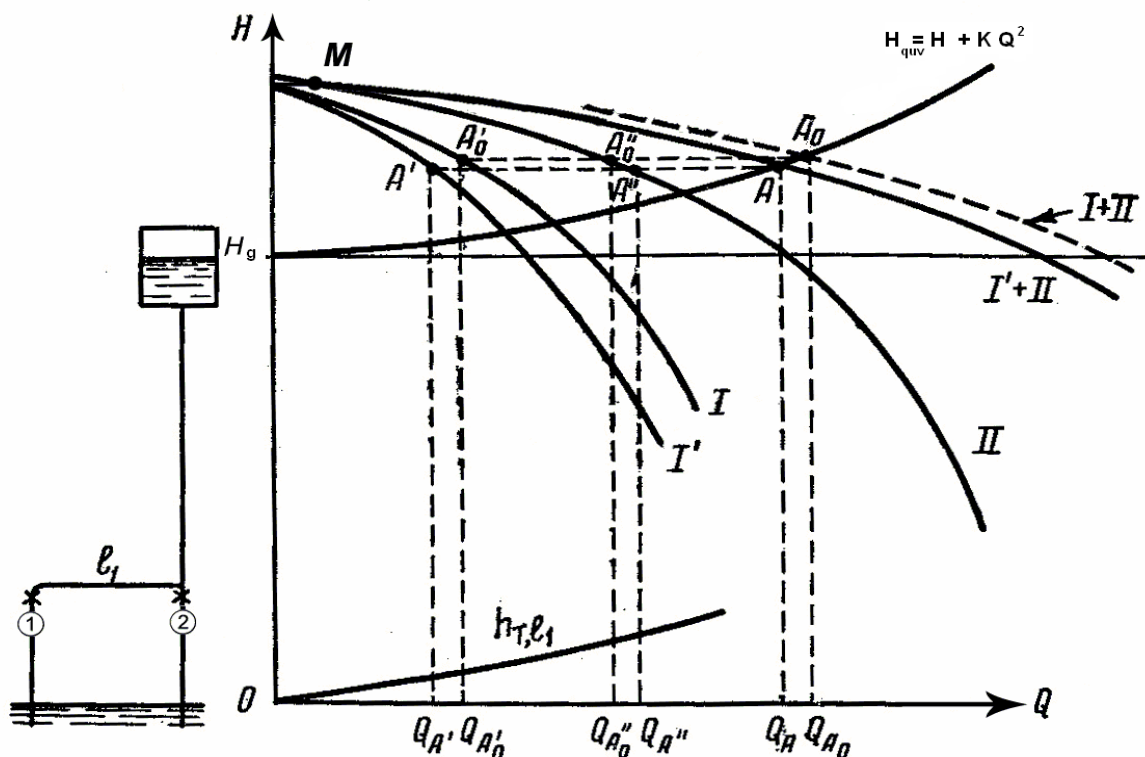
Ikkala nasos alohida ishlab uzatayotgan suv sarfi ular parallel ishlab umumiy bitta quvurga uzatayotgan suv sarfidan kattadir, ya'ni

$$Q_A = Q_A^I + Q_A^{II} < Q_{A1} + Q_{A2}. \quad (1.103)$$

bunda: 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.

Umumiy ulanish nuqtasigacha quvurlari uzunligi har xil bo'lgan nasoslarning parallel ishlashi.

Bu holda nasoslardan birining quvuri uzun bo'lganligi sababli, unda sezilarli darajada bosim yo'qotiladi. ikkinchi nasosning quvuri kalta bo'lganligi uchun, bosim yo'qotilmaydi deb faraz qilamiz.



7.57-rasm. Quvurlari uzunligi har xil bo'lgan nasoslarning parallel ishlashi

Bu nasos agregatlari uchun, bosim xarakteristikasini quyidagicha ko'ramiz: uzun quvurli nasos uchun, yo'qotilgan bosimni hisoblaymiz va uni xarakteristikalar koordinatasiga chizamiz; so'ngra ikkala nasosning bosim xarakteristikalarini chizamiz. Quvuri uzun bo'lgan nasosning bosim xarakteristikasidan, yo'qotilgan bosimni ayirib tashlaymiz va bu nasos uchun yangi bosim xarakteristikasini chizamiz. Hosil bo'lgan yangi bosim xarakteristikasi bilan, ikkinchi nasos bosim xarakteristikalari uchun parallel ishlash koidasiga asosan, umumiy bosim xarakteristikasini chizamiz. Quvurlar sistemasi xarakteristikasini chizamiz. Nasoslar uchun alohida – alohida va umumiy ish nuqtasini topamiz.

7.57-rasmdagi belgilarning mazmuni: $H^1 - Q_I^1$ – yo'qotilgan bosim ajratib tashlangandan so'ng, birinchi nasosning bosim xarakteristikasi; $H-Q_I$ – birinchi nasosning nazariy bosim xarakteristikasi; $H-Q_{II}$ – ikkinchi nasosning nazariy bosim xarakteristikasi; $H-Q_{I+II}^1$ – yukotilgan bosim ajratib tashlangandan so'ng, ikkala nasos uchun umumiy bosim xarakteristikasi; $H-Q_{I+II}$ – bosim yo'qotilgan deb faraz qilinganda, parallel ishlayotgan ikkala nasos uchun umumiy bosim xarakteristikasi.

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 bosim quvuri orqali ikkinchi nasosning so'rish patrubkasiga uzatilishi, **nasoslarni ketma – ket ulab** ishlatish deyiladi. Nasoslarni ketma – ket ulash, umumiy bosimni oshirish uchun qo'llaniladi.

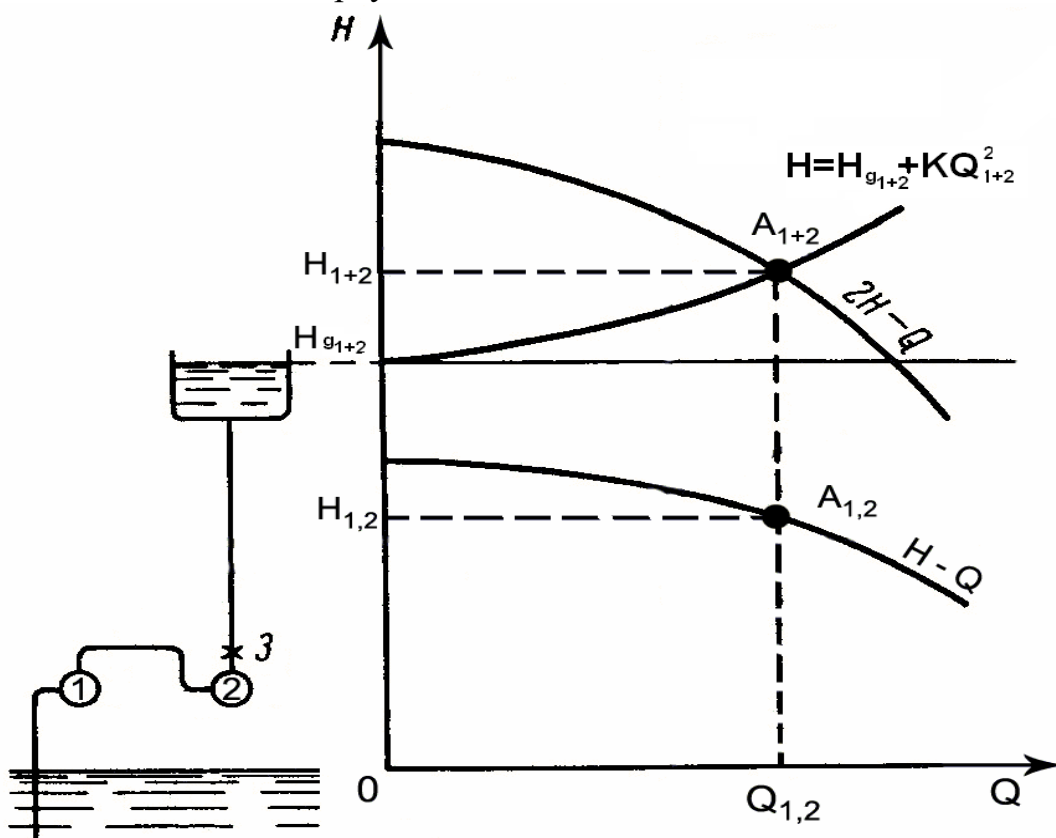
Ketma – ket ulashning asosiy shartlari:

$$Q_{um} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

$$H_{um} = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

Bir xil xarakteristikali nasoslarni ketma–ket ulab ishlatish

Ikki ketma – ket ishlayotgan bir xil xarakteristikali nasoslarning umumiy bosim xarakteristikasini qurish uchun, bitta nasosning har bir suv sarfiga mos bosimini ikki barobar kupaytirish kerak.



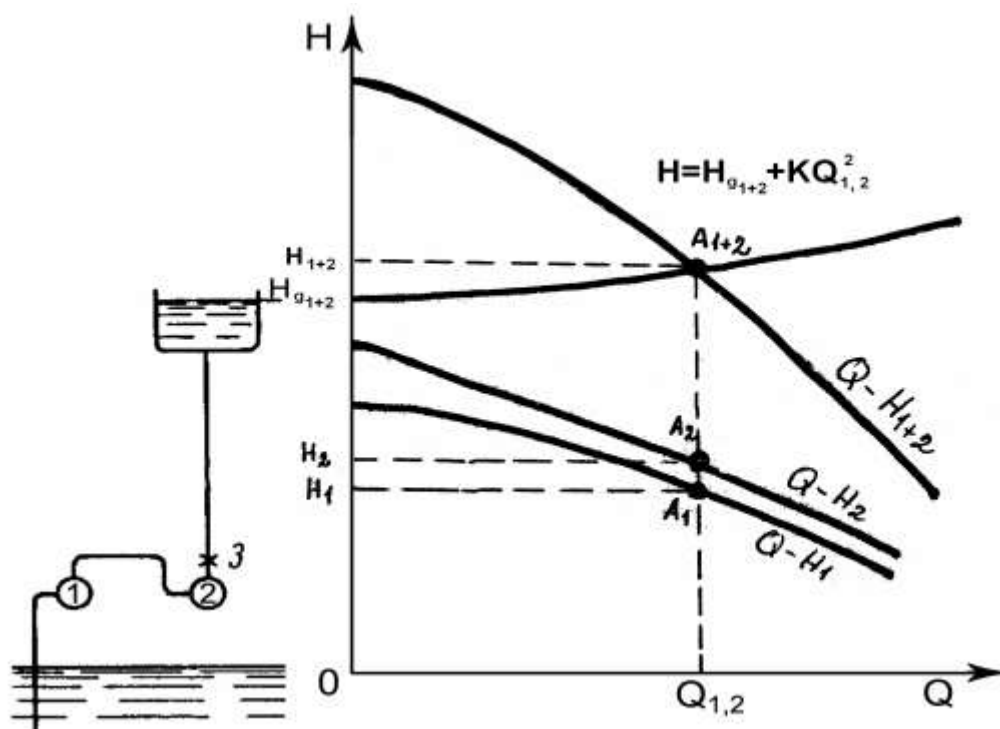
7.58-rasm. Bir xil xarakteristikali nasos-larning ketma-ket ishlashi

Ketma – ket ishlayotgan ikki nasosning ishchi nuqtasi, umumiy bosim xarakteristikasining qu-vurlar sistemasi harakteristikasi bilan kesishgan nuqtasi bo‘ladi. Bir xil xarakteristikali nasoslarning ketma-ket ishlash shartlari:

- suv sarfi $Q_{um} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$
 - bosimi $H_{um} = H_1 + H_2 + \dots + H_n = nH_1$
- bunda: n – nasoslar soni.

Har – xil xarakteristikali nasoslarni ketma – ket ulab ishlatish

Ketma – ket ishlayotgan har xil xarakteristikali nasoslarning har bir suv sarfiga mos bosimlarni topish uchun nasoslar bosimini bir – biriga qo‘shish kerak. Nasoslar bosimi yig‘indisi bilan birinchi nasos suv sarfi orasidagi bog‘lanish ularning umumiy bosim xarakteristikasini beradi.



7.59 rasm. Har xil xarakteristikali nasos-larning ketma-ket ishlashi.

Umumiy bosim xarakteristikasidan biror nuqtaga mos keladigan har bir nasosning bosimini topish uchun, umumiy ishchi nuqtasidan absissa o'qiga perpendikulyar tushi-ramiz. Nasoslarning bosim xarakteristikasi bilan perpendikulyarning kesishgan nuqtasidagi bosim har bir nasosning A nuqtasidagi bosimni beradi. Har xil xarakteristikali nasoslarning ketma – ket ishlash shartlari:

- suv sarfi $Q_{um} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$
- bosimi $H_{um} = H_1 + H_2 + \dots + H_n$

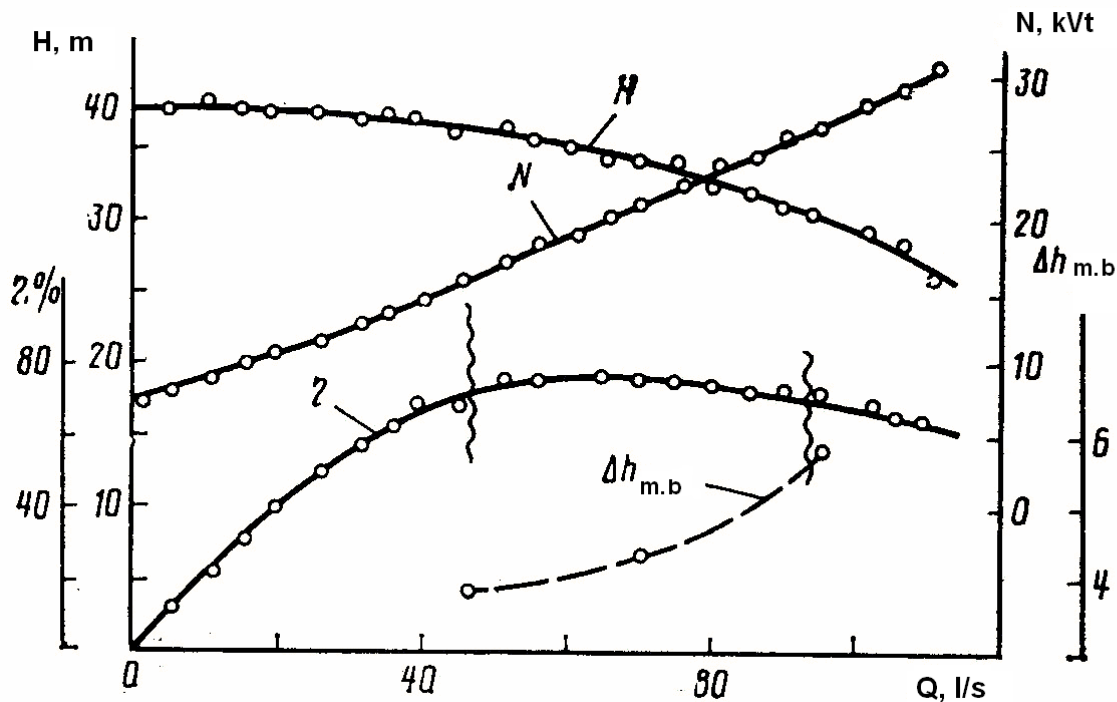
7.4.6. Nasoslarni sinash

Nasoslarning xarakteristikalari – suyuqlik sarfi-Q bilan bosim-H, quvvat-N va FIK- η orasidagi grafik bog'lanishlar yuqorida aytilganidek, zavodda utkaziladigan parametrik sinovlar natijasida olinadi (rasm 1.60).

Parametrik sinovlar, 6134-71 Davlat standarti (GOST) «Dinamik nasoslar. Sinovlar o'tkazishning usullari va qoidalari»ga asosan o'tkaziladigan sinovlarning bir qismi hisoblanadi. Bu davlat standarti, aylanuvchi ishchi qismli barcha dinamik nasoslarga taalluqlidir. Har bir nasos minimal va maksimal suv sarflari oralig'ida **chiniqtirish sinovidan** o'tkaziladi. Chiniqtirish vaqti nasosning quvvatiga bog'lik bo'lib, 0,25 – 2 soatni tashkil qiladi.

Dinamik nasoslar uchun sinovlar o'tkazishning qo'yidagi tashkiliy-xuquqiy turlari o'rnatilgan:

- zavoddagi dastlabki sinovlar;
- qabo'l qilish sinovii;
- dastlabki bir gurux nasoslar sinovi;
- qabo'l qilish – topshirish sinovi;
- davriy sinovlar;
- namunaviy sinovlar;
- ishonchlilikni aniqlash sinovlari.



7.60-rasm. Sinovlar natijasida qurilgan nasosning xarakteristikalari.
o – sinov nuqtalari.

Dastlabki zavoddagi sinovlar birinchi tayyorlangan tajriba nusxa nasoslar va alohida ishlab chiqariladigan nasoslar uchun oʻtkaziladi. Sinovlar bu nasoslarni keyinchalik seriyali ishlab chiqarish va texnik hujjatlarning hamma talablariga mos kelishini tekshirib koʻrish uchun oʻtkaziladi.

Qaboʻl qilish sinovlaridan dastlabki zavoddagi sinovlardan oʻtgan hamma nasoslar oʻtkazilishi lozim. Qaboʻl qilish sinoviga asosan, shu nasosni seriyali ishlab chiqarish masalasi hal qilinadi va nasosning texnik hujjatlariga shu sinovlardan olingan uning ishchi xarakteristikalari kiritilishi shart.

Dastlabki bir gurux nasoslar sinovi, nasosni seriyali ishlab chiqarishga tayyorgarlik koʻrish va tashkil qilish maqsadida oʻtkaziladi. Nasoslarni seriyali ishlab chiqarish uchun, dastlabki bir gurux nasoslar sinovining natijalar qaboʻl qilish sinovlarida olingan natijalarga mos kelishi kerak.

Qaboʻl qilish – topshirish sinovi, nasosni seriyali ishlab chiqarishda, chiqish nazoratining asosiy shakli hisoblanadi. Bu sinovlar, nasoslarni tasdiqlangan texnik hujjatlar talablariga mos kelishini tekshirish maqsadida oʻtkaziladi. Bunday sinovlardan har bir seriyali ishlab chiqariladigan nasoslar oʻtkazilishi shart.

Davriy sinovlarda, nasoslar seriyali ishlab chiqarila boshlagandan soʻng, ularni hamma fizik parametrlari kundalik (davriy) nazoratdan oʻtkazib turiladi. Bu sinovlar nasoslarni tayyorlovchi zavod tomonidan oʻtkazilib, ularni texnik talablarga mos kelishi tekshirib koʻriladi.

Namunaviy sinovlardan nasosni ishlab chiqarish texnologiyasi yoki konstruksiyasiga oʻzgarishlar kiritilgan soʻng, tayyorlangan birinchi nasoslar oʻtkaziladi.

Ishonchlilikni aniqlash sinovlari, seriyali ishlab chiqarilgan birinchi nasos yoki alohida ishlab chiqarilgan nasoslar bilan ularning xaqiqiy ishonchlilik koʻrsatkichlarini olish uchun oʻtkaziladi. Bu sinovlar, nasoslarda kapital taʼmirlash

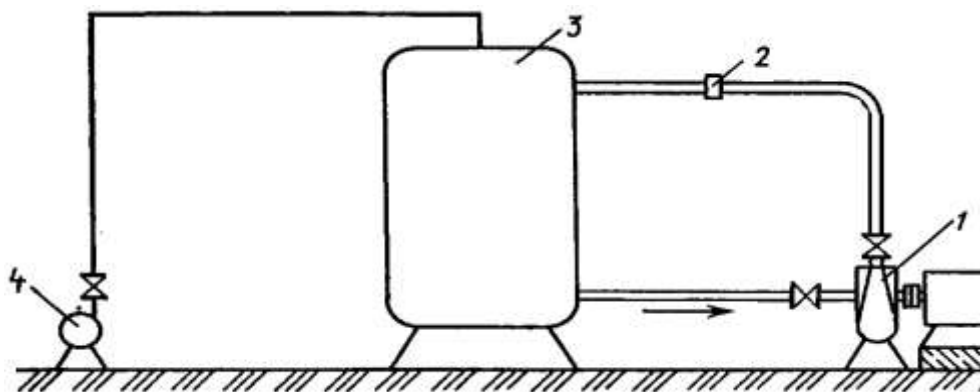
boshlanguncha yoki nasos ishlamay qolguncha davom ettiriladi va juda uzoq vaqt davom etishi mumkin.

Ishonchlilikni aniqlash sinovlari – bu nasosni ishlab chiqargan korxona qatnashmaydigan yagona sinov turidir. Bu sinovlar natijasida, ishlab chiqarilgan nasoslarning ishonchlilik ko'rsatkichlari, zavod tomonidan berilgan ko'rsatkichlardan past emasligiga baxo beriladi.

Xaqiqiy mazmuniga nisbatan, ishonchlilikni aniqlash sinovlari, nasoslarni dala sharoitida yoki shunga o'xshash maxsus sinov qurilmalarida, nazorat ostida ekspluatasiya qilishdan iboratdir. Sinovlar yopiq va ochiq sinov qurilmalarida o'tkazilishi mumkin (rasm 7.61. va 7.62.) . Yopiq sinov qurilmalari, kirishda bosimini tartibga solish mumkin bo'lgan, kichik va o'rtacha nasoslarni parametrik sinovlardan o'tkazishda qo'llaniladi. Nasosning kavitasiya xarakteristikasini olishda, nasosga kirishdagi vakuum, vakuum-nasos bilan hosil qilinadi. Ochiq turdagi sinov qurilmalari, har xil nasoslarni nazorat sinovidan o'tkazishda hamda, katta nasoslarni va kirishda bosimini tartibga solishni iloji bo'lmagan nasoslarni, parametrik sinovdan o'tkazishda qo'llaniladi.

Toshkent irrigasiya va qishloq o'jaligini mexanizasiyalashtirish injinerlari instituti gidromeliorasiya fakul'teti «Suv quvvatidan foydalanish va nasos stansiyalari» kafedrasida ochiq turdagi bir necha sinov qurilmalari mavjud.

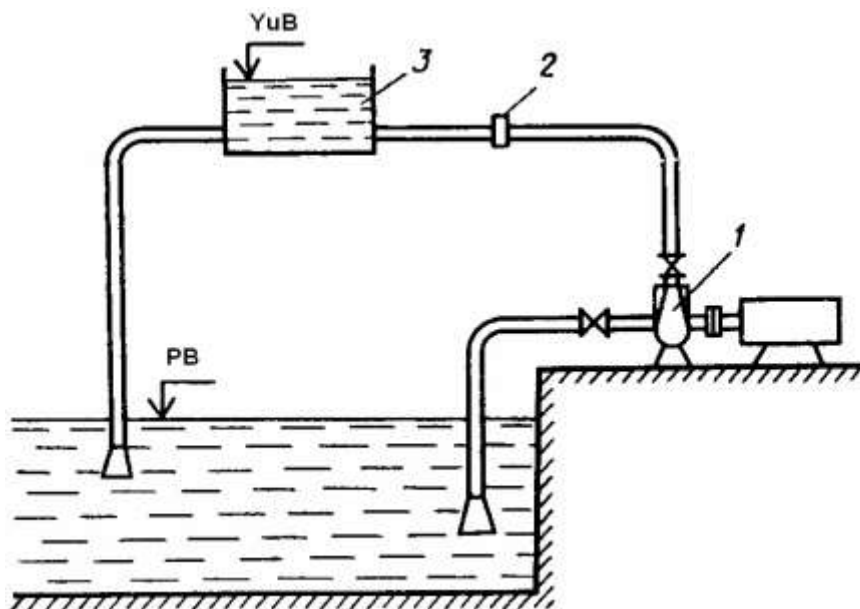
Ma'lumki, er osti suvlari hisob sathini bir xilda ushlab turish uchun drenaj quduqlaridan suv ko'tarib beruvchi ЭҚБ markali nasoslar qo'llaniladi. hozirgacha ishlab chiqarilayotgan bu turdagi nasoslarning eng minimal suv ko'tarish balandligi 35 m.ga teng. Ammo, nasoslarni 35 m.dan yuqoriroqqa (masalan, er sathidan 15 m pastga) o'rnatib ham, er osti suvlarining hisob suv sathini ushlab turish mumkin. Bu holatda, drenaj quduqlarini jihozlash harajatlari hamda, energiya iste'moli kamayadi.



7.61-rasm. Yopiq turdagi sinov qurilmasi.

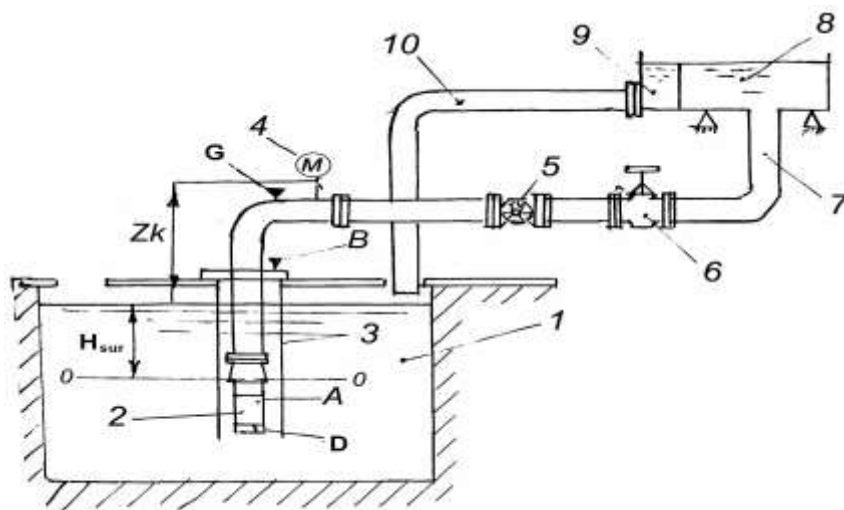
1 – sinab ko'rilayotgan nasos; 2 – suv o'lchagich; 3 – vakuum baki;
4 – vakuum nasos.

Yuqoridagilarga asosan, O'zbekiston Respublikasi Qishloq va Suv xo'jaligi vazirligining qarori bilan, "Suv mash" zavodida, quduqlardan suv chiqarib beruvchi past bosimli maxsus ЭҚБ10-160-15 markali elektronasos ishlab chiqarila boshladi. 1999 yili bunday nasoslarning dastlabki 10 donasi ishlab chiqarildi va ekspluatasiya (dala) sinovlarini o'tkazish uchun ulardan 5 donasi Sirdaryo nasos stansiyalari energetika va aloqa boshqarmasiga, 5 donasi esa fargona viloyati qishloq va suv xo'jaligi boshqarmasiga berildi.



7.62-rasm. Ochiq turdagi sinov qurilmasi.
1 – sinab ko'rilayotgan nasos; 2 – suv o'lchagich; 3 – bosimli bak.

O'zbekiston Respublikasi Qishlok va Suv xo'jaligi vazirligining topshirig'iga asosan, bu nasosning dastlabki nusxalari bilan, Toshkent irrigasiya va meliorasiya institutida, uning ishonchliligini aniqlash sinovlari o'tkazildi. Bunday sinovlarning eng samarali turi, nazorat ostida ekspluatasiya qilishdir, ya'ni dala sharoitida va xaqiqiy dala tulik takrorlovchi laboratoriyadagi ochiq sinov qurilmasida (rasm 7.4.24.) , normal ekspluatasiya qilinayotgan nasoslarda bo'layotgan hamma o'zgarishlar va harakatlarni u to'xtab qolguncha sistematik ravishda kuzatib borishdir.



7.63-rasm. ЭҚБ насосларини sinovdan oʻtkazuvchi ochiq turdagi sirkulyasiyali qurilmaning sxemasi.

1 – suv qabo‘l kiluvchi basseyn; 2 – nasos; 3 – quduikka kiydirilgan quvur; 4 – manometr; 5 – suv o‘lchagich; 6 – zadviyka; 7 – bosimli quvur; 8 – bosimli bak; 9 – suv t oqib ushadigan nov; 10 – suv tashlagich quvur; A va D – issiqlik datchiklari; B va G – titrash datchiklari.

Sinov olib borilayotgan nasos qisman takomillashtirilgandan so'ng, nasosning xaqiqiy ko'rsatkichlarini pasportidagi ko'rsatkichlari bilan solishtirish natijasida, uning F.I.K. 13% ko'tarilganligi kuzatildi.

Unumdorligi katta bo'lgan nasoslarni laboratoriya sharoitida sinovdan o'tkazib bo'lmaydi. Shuning uchun ularni nusxalari sinab ko'riladi. O'xshashlik qonunlaridan foydalanib, nusxani xarakteristikasi asl nasosning xarakteristikasiga qaytadan hisoblab chiqiladi. Asl nasosning hisoblangan xarakteristikalari, u nasos stansiyasiga o'rnatilib ishga tushirilgandan so'ng tekshirib ko'riladi.

7.5. HAJMIY NASOSLAR.

Hajmiy nasoslarga porshenli, rotorli, diafragmali va boshqa nasoslar kiradi.

Siqib chiqarish nasoslarda suyuqlik ish kamera hajmini navbat bilan o'zgartirishi hisobidan uzatiladi. Ish jarayonining birinchi yarmida nasos ish kamerasi hajmi ko'payadi, undagi bosim esa kamayadi. Bu vaqtda ish kamera suv to'ldirilgan rezervuargacha tushirilgan so'rish quvuri bilan tutashadi va atmosfera bosimi ta'sirida suv bilan tuladi. Ish jarayonining ikkinchi yarmida, kamera so'rish quvuridan ajratilgan va bosimli quvur orqali yuqoridagi rezervuar bilan tutashadi. Bu vaqtda ishchi kamera hajmi kamaya boshlaydi va suyuqlik bosimli quvur orqali yuqori idishga siqib chiqariladi.

Porshenli nasoslar

Porshenli nasoslar qadimdan ma'lum. Hozirgi vaqtda porshenli nasoslar qishloq xo'jaligi suv ta'minotida quduqlardan suv chiqarishda qo'llanib turiladi. Krivashiqli mexanizmlilik bir tomonlama ishlaydigan porshenli nasosni ko'rib chiqamiz. Bunda klapan kutisi bilan silindr, ish kamerasini hosil qiladi. Uning hajmini binobarin, undagi bosimni silindr ichida ilgariqlanma – qaytma harakat qilayotgan porshen o'zgartiradi. Bu harakat krivoshiqli val hamda nasos porsheni bilan shtok vositasida birikkan shatundan iborat krivoshiqli mexanizmi yordamida vujudga keladi. Porshenning vertikal tekislikdan ogishiga yul kuymaslik uchun shtokni shatun bilan birtitiruvchi sharnir ikki parallel tekislik orasida harakatlanadi. Porshen ungga xarakterlanganida ish kamerasida siyraklanish – vakuum hosil bo'ladi. Atmosfera bosimi ta'siri ostida suv kabo'l rezervuaridan so'rish quvuri bo'ylab ko'tariladi. Va so'rish klapani ochib, ishchi kamerasiga kiradi. Porshenli nasoslarda suvning so'rilish jarayoni shunday sodir bo'ladi. Porshen chetki xolatdan chapga harakatlanganida haydash jarayoni sodir bo'ladi bunda porshenning ish kamerasida suvni bosishi natijasida so'rish klapani beqiladi, haydash klapani esa ochiladi va suv ishchi kameradin bosim quvuriga siqib chiqariladi. Porshenli nasoslar bilan suv bir tekis uzatilmaydi. So'rishning notekisligi nasosga ishiga salbiy ta'sir qiladi, chunki u nasosning so'rish kobilyatini cheklaydi. Bu xodisani oldini olish uchun so'rish va bosimli quvurlarda nasosga xavo klapanlarini o'rnatish kerak bo'ladi. Nasosni suv uzatish notekisligini turgunlashtirish uchun nasosda bir vaqtning o'zida ishlaydigan ishchi kameralar va silindrlar sonini ko'paytirish kerak.

Ko'rsatib o'tilgan shart – sharoitlar bu mashinalarning uzatishining kichikligini, ko'p metall ketishini hamda qimmat turishini bildiradi. Shu sababdan porshenli nasoslar sugorishda xamda suv bilan ta'minlashda keng qo'llaniladi.

Porshenli nasoslar kam haydashli $0,01 - 250 \text{ m}^3/\text{soat}$ va yuqori bosimli $0,25 - 25 \text{ MPa}$ xisoblanadi. Konstruksiyasi buyicha porshenli nasoslar ikki guruxga bo'linadi, xususiy porshenli va plunjerli. Plunjerli nasoslarda R 93 porshen o'rniga

silindrik plunjer harakat qiladi, u salnik orqali nasosning silindri xisoblanuvchi nasos kamerasi ichiga kiradi. Gidravlik nuqtai nazardan va ish jarayoni buyicha ikqila gurux nasoslari bir xil.

Nasoslarni konstruktiv farqlanishi ularni har xil ish sharoitlarida qo'llanishini belgilaydi. Masalan yuqori 10 metrdan ko'p bosimlarda plunjerli nasoslarni qo'llash, past bosimlarda porshenli nasoslarni qo'llash maksadga muvofik. Ekspluatatsiyada plunjerli nasoslar kulayrok chunki porshenlardagi kabi ularda o'zgartiriladigan qismlari yuk.

Bir tomonlama harakatlanuvchi porshenli nasoslarni sekunddagi haydashi n ni ikki karra harakatida formuladan aniqlanadi

$$Q_t = \frac{FnSn}{60}$$

Soatdagi haydashi $Q_t = 60 Fn \cdot Sn$ formulasidan aniqlanadi. 7.5.5-rasmda nasosni ichiga zichlovchi S solniga orqali utuvchi, vertikal plunjerli, bir tomonlama harakatlanuvchi nasos sxemasi ko'rsatilgan. Bu nasos xuddi gorizontal porshenli nasos kabi ishlaydi. Kushimcha qismlari faoliyat so'ruvchi xavo kamerasi va xaydovchi xavo kopkogidir. Bu qismlar nasosni ishida katta ahamiyatga ega va gorizontal plunjerli va porshenli nasoslarda bo'lishi mumkin.

Ukuni joylashishi buyicha nasoslar gorizontal va vertikal bo'ladi.

Porshenli chapga harakatida, nasos ishi turgunlashganda K_v klapani yopik, K_n klapani ochiq bo'ladi va u orqali nasos S yurishida bosimli quvurga $V_i = F_n \cdot S$ suv xajmini haydaydi. Bu vaqtda nasosni ung ishchi kamerasiga K_v klapani orqali suv so'riladi, bu vaqtda klapan K_n yopik bo'ladi. Porshen ungga harakatlanganida so'rish K_v klapani orqali, haydashesa K_n orqali amalga oshiriladi, bunda nasos S yurishda $V_r = (F_n - f) S$ suv xajmini haydaydi. Demak, ikki yurishda nasos suv haydashi quyidagicha bo'ladi.

$$V = V_1 = V_2 = F_n \cdot S = (F_n - f) S = (2F_n - f) S$$

Sekunddagi suv haydashi

$$Q_t = \frac{(2F_n - f)Sn}{60}$$

soatdagi

$$Q_t = 60 (2F_n - f) Sn$$

bunda:

F_n – porshen yoki plunder qirqim yuzasi m^2 , $\frac{\pi D^2}{4}$;

D – porshen diametri m ;

f – porshen shtoki qirqim yuzasi, m^2 ;

S – porshen yuritish kriship shatunli nasos uchun;

$2z$ – ga teng, r – krivaship radiusi, m ;

n – porshen yoki plunjerning ikki karrali yurish krivaship vali aylanishi, chastotasi;

V – bir porshen plunder xajmi, m^3 ;

Q – nasosning haqiqiy haydashi, m^3/s ;

t – sekund, minut, soat bo'lishi mumkin;

Q_t – nasosning nazariy haydashi, m^3/s .

Quvurli quduqlarda oddiy vertikal shtangali porshenli nasoslar qo'llaniladi. rasm 7.5.5. Nasos silind 2 dan, klapan so'rish quvuridan, klapan Kn bilan yoniluvchi teshikchali porshen 3 dan tashqil topgan. Bunday porshen utkinchi xisoblanadi. Porshen, panshaxa 4 bilan tutashgan shtanga 5 dan harakatga keltiriladi. Nasosni turgun ishida porshen S yurishi balandligiga yuqoriga ko'tarilganida Kv klapani orqali silndrga FnS xajmdagi suvni so'rib oladi va shu bilan birga bosimli kuvirga FnS xajmni haydaydi, bunda Kn klapanli yopik bo'ladi. Porshen tushirilganda Kv klapani yopiladi, ochilgan Kn klapani orqali esa FnS xajmi suv okadi va porshen tushirilganda silindr ichi suvga tuladi. Bu vaqtda nasos bosimli quvurga xali suv uzatmaydi. Ko'rib chiqilgan nasos bir tomonlama harakatlanuvchi nasoslar guruxiga kiradi va porshen yuqoriga harakatlanganda ishchi yurishni amalga oshiradi.

Bu nasos biroz soddalashgan konstruksiyada 2500 yil avval qadimgi greklarda chukur quduqlardan suv ko'tarishda hozir xam qo'llanilmoqda rasm 7.5.5 b da shtangali porshenli differensial nasos ko'rsatilgan pastki qism rasmda ko'rsatilgan bilan bir xil, yuqori qismi esa plunjerga ega. Plunjer tufayli nasos, differensial nasos prinsipida ishlaydi porshen ko'tarrilganda. Quvurga uzatilgan xajm (Fn-f) S ga, klapan Kv orqali so'rib olinayotgan suyuqlik xajmi FnS ga teng. Porshen tushiriganda plunjer bosimli quvurga tS xajmni siqib chiqaradi. Binobarin ikki yurishdagi haydash $V=Fn \cdot S$ ga teng.

Shtangali nasoslar ikkita porshenga ega bo'lishi mumkin. Har bir porshen yuqoriga yurganda bir vaqtni o'zida so'radi va haydaydi. Yuqoridagi porshen shtangasi kuvirsimon, uni ichidan pastki porshen uzliksiz shtangasi o'tadi. Ikkala porshen shtangasi ularni biri ko'tarilganda fakat chuzilishga ishlaydi, pastga tushishi esa porshenlar va shtkngalar ogirligi xisobidan ruy beradi. Ikkala yurishni yuklamasi bir xil, shuning uchun krivashipni tulik aylanishida ish bir tekis bajariladi va ishni tekislash uchun rasm 96 da ko'rsatilgan nasoslarga kerak bo'lgan maxsus moslamalar qo'llanilmaydi. Vazifasi, ishlash sharoiti va uzatilayotgan suyuqlik xususiyatiga karab porshenli nasoslar har xil konstruksiyali bo'ladi.

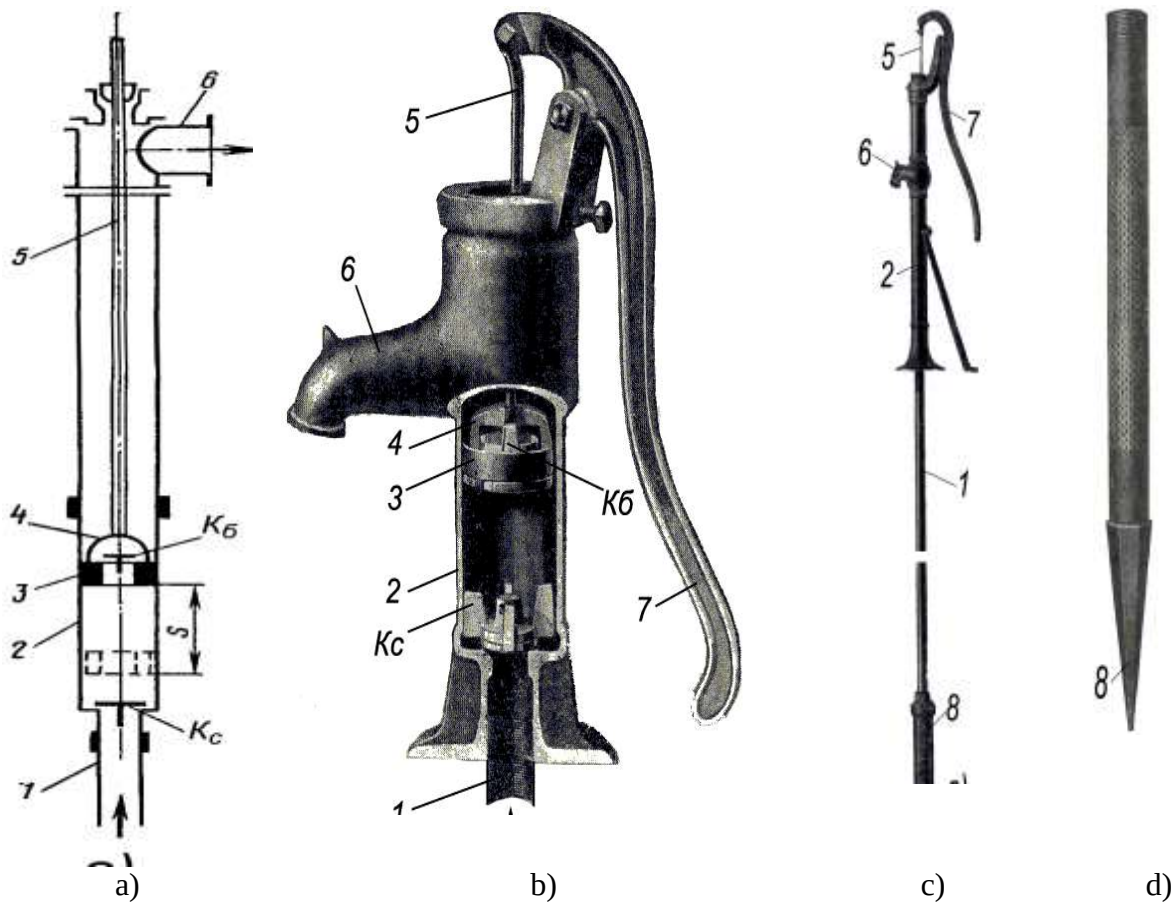
Ukuni joylashishi buyicha gorizontal va vertikal nasoslar bo'ladi. Vertikal nasoslar aloxida fundamentlarga o'rnatiladi yoki shtangali nasoslar kabi quduqqa tushiriladi harakati tavsifi buyicha, bir tomonlama va ikki tomonlama harakatlanuvchi, differensial plunjerli nasoslar bo'ladi.

Porshenlar yoki silndrlar soni buyicha, bir porshenli, ikki porshenli va ko'p porshenli nasoslar bo'ladi. Harakatga keltirish usuli buyicha to'g'ri harakatlanuvchi – bug ularda nasos silindridagi porshen umumiy shtok orqali bug mashinasi porsheni bilan boglanib nasos silindri bilan bir umumiy agregat hosil qiladi; porshenli nasos bilan kandaydir uzatma orqali tutashgan aloxida joylashgan dvigatelli nasoslar, kul yuritmal kul nasoslar bo'ladi.

Hozirgi vaqtda, respublikamiz qishloq axolisi, yuz minglab shtangali porshenli nasoslardan er ostidan ichilik suvini ko'tarib olish uchun foydalanilmoqda.

Hozirgi vaqtda, respublikamiz qishloq axolisi, er ostidan ichimlik suvini ko'tarib olish uchun yuz minglab shtangali porshenli nasoslardan foydalanilmoqda. Ushbu porshenli nasoslar, quvurli quduqlardagi suvni ko'tarib berganligi uchun, chukur porshenli nasoslar deb xam ataladi. – rasmda shtangali porshenli nasos

kurilmasining umumiy kurinishi (b va c) , nasosning sxemasi (a) va fil'tri (d) tasvirlangan.



7.64-rasm. Shtangali porshenli nasos:

a – sxemasi; b, c – umumiy kurinishi; d – fil'tri.

1 – so‘rish quvuri; 2 – silindr; 3 – porshen; 4 – vilka; 5 – shtanga; 6 – bosim quvuri;
7 – dastak; 8 – fil'tr.

Shtangali nasos silindrdan -2, K_s – klapanli so‘rish quvuridan -1, bosim klapani – K_b bilan bekitiladigan teshik porshendan -3, vilka -4 bilan ulangan, porshenni harakatga keltiruvchi shtanga -5 va bosimli quvurdan -6 iboratdir.

Quvur orqali suv ko‘taradigan shtangali nasos kurilmasi quyidagicha ishlaydi. Porshen yuqoriga ko‘tarilganda bosim klapani – K_b beqiladi, so‘rish klapanli – K_s ochiladi va bir vaqtning o‘zida suv silindrga hamda bosimli quvurga o‘tadi. Porshen pastga harakatlanganda so‘rish klapani - K_s yopiladi, bosim klapani – K_b esa ochiladi va suyuqlik porshen orqali uning yuqorisidagi xajiga o‘tadi. Bu vaqtda bosimli quvurga suv utish yuli berk bo‘ladi, ya‘ni bu nasos xuddi bir harakatli porshenli nasos kabi ishlaydi.

Rotorli nasoslar

Rotorli nasoslar ishchi kameradan suyuqlikni siqib chiqarish prinsipida ishlaydigan xajmiy nasoslar guruxiga kiradi. Siqib chiqaruvchi sifatida shesternalar tishlari, vintlar, plastinkalardan foydalaniladi. Nasosga tushgan suyuqlik tishlar orasidagi chukurchachani, vintli bo‘shliqni to‘ldiradi. Porshenli nasoslardan farqli ularok rotorli nasoslarni siqib chiqaruvchilari ilgarilanma – qaytma emas balki, uk atrofida uzluksiz aylanma harakat qiladi. Klapanlar bu erda yuk, bosimli kamerani

soʻruvdan siqib chiqaruvchini uzi ajratadi. Ilgarilanma – qaytma harakatni va u bilan bogʻlik katta inersiya harakatlarini yukligi. Klapanlarni boʻlmasligi va deyarli tekis suv uzatish bu nasoslarni yuqori aylanishlar sonida ishlashini taʼminlaydi.

Barcha rotosion nasoslar suyuqlikni ifloslanishiga taʼsirchan. Agar u obraziv zarrachalarga ega boʻlsa, nasosning ishkalanuvchi qismlari tez eyiladi va zichlik buzuladi. Shuning uchun bu nasoslar toza suyuqliklarni uzatishda ishlatiladi. Rotasion nasoslarni ishlash prinsipini shestrenalilar misolida koʻrib chiqamiz.

Shesternyali nasos bir biri bilan birikadigan ikkita shesternadan iborat. Shesternalar radial oralikda nasos korpusida joylashgan. Shesternalar biri 2 ettioluvchi xisoblanadi. U valga shponka bilan biriktirilgan. Val korpusdan chiqarilgan va oxirida shkif 4 yoki dvigatelʼ uchun muftaga ega. Ikkinchi etaklovchi shesterna 2 dan aylanadi va bosimli kamerani soʻruvchidan ajratuvchi xisoblanadi. Shestrenalarni aylanishidan suyuqlik soʻrish kamerasi 5 da tishlar orasida chukurchalar bilan egallanadi. Natijada tishlar chukurcha suyuqlik katta tezlikda olib ketishini sababli soʻrish kamerasida siyraklashish ruy beradi va soʻrish teshigiga suyuqlik keladi. Tishlar orasi chukurchasidagi siyuklik tishlar uzaro birikkan paytda haydash kamerasiga siqib chiqariladi va u erda bosim ortib suyuqlik uzatiladi.

rasm dan kurinib turibdiki toʻgʻri tishli shesternali shesternalarda, tishlar orasida suyuqlik siqib keladi. Shestrenalarni aylanishi natijasida yonib qolgan joydagi bosim oʻzgaradi. Bosim koʻpayganda kushimcha radial yuklanish hosil boʻladi, bosim kamayganda esa chukur vakuum hosil boʻlib kavitasiyaga olib keladi va tishlar yuzasini buzadi. Tishlar orasida suyuqlikni kolishini olidini olish uchun shevron tishli shesterialarni ishlatish maʼkul.

Shesternali nasoslar ixcham, tuzilishi buyicha sodda, arzon va ishlashi puxta. Yaxshi nasoslarda FIK 0,6 – 0,7 dan oshmaydi. Ular gidroelektrostansiyalar moy xoʻjaligida, kurilishi va yul mashinalarida keng qoʻllaniladi. ishlab chiqarish 0,22 dan 144 $m^3/soat$ gacha suyuqlik xaydovchi va bosimi 0,4 dan 2,5 MPa gacha boʻlgan kinematik yopishkokligi 0,2 dan 100 sm^2/s va harorati 250 $^{\circ}C$ gacha boʻlgan suyuqliklarni xaydovchi shesternali nasoslarni ishlab chiqariladi. Ularni xarakterli koʻrsatkichli bitta aylanishdagi haydash – ishchi xajm xisoblanandi. Ishchi xajmi 1200 sm^3 gacha nasoslar silindrik toʻgʻri tishli shesternali, 1200 sm^3 dan koʻp boʻlganda tashkiyaligi 200li tevron kiyshik tishli qilib ishlab chiqariladi. Kinematik yopishkokligi kamida 0,2 sm^2/s va harakati 100 $^{\circ}C$ gacha suyuqlik bilan ishlaganda shesternali nasosni kapital remontgacha xizmat vaqti 15000 soatgacha boʻladi.

Nasosning turiga siz belgilari OCH 8 – 25

8 – un marta kamaytiriladi. Ishchi xajmi 80 sm^3 .

25 – bosimi 2,5 MPa .

Kiyshik tishli va shevran shesternalarda tekis va shovkinsiz ish amalga oshiriladi. Agar nasos har bir aylanishda tishlar orasidagi boʻshliq xajmiga teng miqdordagi suyuqlik haydaydi deb taxmin qilinsa, shesternali nasosni haydashini taxminiy formulasiga ega boʻlamiz.

$$Q_t = 2 \pi D_{n.o.} v p.$$

Tishlar sonini $Z = 7 / 12$ tishlar xajmi tishlar orasi xajmidan birmuncha kam deb kaboʻl qilib avval nazariy haydashni.

$$Q_t = 7 D_{n.o.} t v p.$$

S o'ng haqiqiysini

$$Q = \eta_{ob} \cdot Q_t \text{ topamiz.}$$

bunda: $D_{n.o.}$ – etaklovchi shesterna, boglangich aylanasi diametri, *sm*;

m – etishish modeli, *sm*;

v – g'ildirak eni, *sm*;

p – etaklovchi shesterna aylanish chastotasi, *ayl/min*.

η_{ob} – xajmiy FIK, amaliy xisoblar uchun 0,8 dan 0,9 gacha kabo'l qilinadi.

Z – tishlar soni, etaklovchi va etakluvchi shesternalar uchun bir xil kabo'l qilish tavsiya qilinadi.

Suv xalqali vakuum nasoslar

Markazdan qochma nasoslarni suv bilan to'ldirish uchun maxsus vakuum nasoslardan keng foydalaniladi. Suv bilan qisman to'ldirilgan silindrda eksentrik joylashgan yulduzsimon shakldagi ish g'ildiragi aylanadi. Bunda korpus perimetri bo'ylab bir tomondan, g'ildirak vtulkasiga tegib turuvchi, qolgan tomonlardan vtulka bilan o'roqsimon bo'shliq hosil qiluvchi suv xalqasi yuzaga keladi. Ish g'ildiragi aylanganda uning birinchi yarim aylanish davomida (korpus ung qismi) parraklar, vtulka va suv xalqasi oralig'idagi ish kamerasi xajmi ortadi, bosim kamayadi, natijada so'rish quvuri bushligidan so'rish derazasi orqali xavoni so'rish jarayoni ta'minlanadi. Ikkinchi yarim aylanish davomida (korpus chap qismi) suv xalqasi, vtulkaga yaqinlashadi, ish kamerasining erkin xajmi kamayadi, natijada parrak, vtulka va suv xalqasi oralig'idagi bo'shliqda xavoning siqilishi kuzatiladi. Ortikcha bosim ta'sirida xavo o'roq shaklidagi deraza orqali haydash quvuri tomon so'riladi. Shunday kiilb, xavo so'rish bushligidan haydash bushligi tomon harakatlanadi. Xavo bilan birgalikda nasosdan oz miqdorda suv xam chiqadi. Suv isrofi va kizib ketishning oldini olish uchun vakuum nasosga sirkulyasion idishdan yoki suv olib ketish tarmogidan toza suv uzulksiz kelib turadi.

Aylanayotgan suvni xajmi rotor V ni AV qirqimidan o'tayotgan xajmga teng. Demak parraklar soni Z , ularning urtacha kalinaligi S , eni v va g'ildirakni aylanish soni n da bu sarf ushbu kurinishni oladi.

$$Q_B = \left[\frac{\pi}{4} (D_0^2 - D_2^2) - Z l_1 S \right] b \frac{n}{60}$$

Suv xalqa nasoslar konstruksiyasi buyicha sodda va ekspluatatsiyasi buyicha puxta, fakat ishchi suv kuyish uchun toza suvni ishlatish kerak.

Nasos korpusi va rotor orasidagi oralik 0,1 *mm* dan oshmaydi. Ishlab chiqarish BBH va PMK turidagi suv xalqa vakuum – nasoslarini ishlab chiqaradi. Suv xalqa mashinalari ikki turda ishlab chiqariladi: B – sodda harakatli va DB – ikki tomonlama harkatli, hamda ikki bajarishli; BH – vakuum nasos sifatida ishlashi uchun; K – kompressor sifatida ishlashi uchun.

Sodda harakatdagi BBH turidagi vakuum nasosning asosiy parametrlari: suv haydashi 0,75 dan 50 *m³/mingacha*, ikki harakatli 150 *m³/mingacha*, maksimal vakuum 85 dan 95 % gacha. PMK ratasion xul turdagi Q 3,6 dan 27 *m³/min* gacha, chegaraviy vakuum 90 dan 90 % gacha. rasm II 132, 107 da suv xalqa vakuum nasos konstruksiyasi ko'rsatilgan.

BBH – 15 nasosni xarakteristikasi rasm II 108 da keltirilgan.

Suv xalqa vakuum nasoslar. BBHK kurinishda belgilanadi, bu erda B – suv xalqa; BH – vakuum – nasos; Q – nasos haydashi m^3/min , PMK nasoslari PMK – Q kurinishda belgilanadi, bu erda Q – nasos haydashi m^3/min da.

Ish vaqtida suv nasos bilan xavoga kushilib tashlanadi, shuning uchun uni nasosga bir tekis kerakli miqdorda kushib turish kerak. Agar xalqa suv bilan to'ldirilmagan ya'ni nasos ishida g'ildirakni yuqori vtulkasi tulgagan bo'lsa, zichlik buzuladi va nasos ishlamaydi. Bundan tashkari suv nasosda kiziydi, suvni kushish sovutish uchun xam kerak. Suv vodoprovoddan salnik tikini orasida joylashgan gidravlik zatvor kamerasiga keltiriladi, u erdan suv g'ildirak rotori stupisasiga tushadi va markazdan qochma kuch ta'sirida, yon tekislik bo'ylab okadi, suv xalqasini hosil qilib g'ildirak va lobovina orasidagi oralikni zichlaydi. Ko'pinchalik suv kameradan salnik orqali o'tadi, uni sovo'tadi va bir vaqtini o'zida zichlanishni hosil qiladi. Sal'nikni kattik sikish mumkin emas, chunki u suvni tomchi yoki inchgichka okimcha kurinishida utkazishi kerak. Sal'niklar va podshipniklar nasosning katta ahamiyatli qismlaridir.

Gaz bilan birgalikda haydalayotgan suvni ajratib olish uchun suv yiguvchi sigim o'rnatiladi, uning urta qismida okizuvchi kuvir pastda esa suvni tulik okizish uchun pukak bilan yopilgan teshik bor. Yuqorida ikkita teshik mavjud: bittasi xaydovchi kuvirni va suv yiguvchini tutashtiruvchi quvur uchun, ikkinchisi – gazni atmosferaga chiqarish uchun ishlatiladi.

Nasosni yokishdan oldin suv bilan to'ldiriladi. Nasos yuritmasi elektrodvigatel'.

Nasos va elektrodvigatel' umumiy poydevor plitasiga montaj qilingan.

Kichik BBH – 1,5, BBH – 3 nasoslarda suv yiguvchi – sigim nasos bosim quvurchasida o'rnatilishi mumkin.

Qanotli nasoslar

Qanotli nasoslarni harakati porshenli nasosnikiga o'xshash bo'ladi. Qo'zg'almas silindr korpusi devoriga zich tegib turgan qanotni qayta – burilma harakatidan, so'rish kuviriga tegib turgan korpusda xajm oshadi va so'rilish vujudga keladi. Bir vaqtning o'zida so'rib olingan suyuqlikni korpusdan siqib chiqarilishi natijasida haydash paydo bo'ladi. Qanotli nasoslarda ko'tariluvchi va otiluvchi klapanlarni o'rnatishga to'g'ri keladi. Qanotli nasoslar ikki tomonlama turt karra harakatlanuvchi bo'ladi. Ikki tomonlama xarakterlanuvchi va toza suvlarni haydashga muljallangan kul Al'veylar nasosi ancha keng tarkalgan. Dastani chapdan ungga burganimizda korpusning chap qismida quvurcha orqali so'rish, o'ng qismida esa klapan orqali suyuqlikni haydash vujudga keladi. Quvurcha diametrini 1,5 dyumda nasos haydashi $Q = 90 \text{ l/min}$. bo'ladi. Nasoslar suyuqlikni 7 m balandlikka so'rishi va 30 – 40 m bosim hosil qilishi mumkin. Nasosning soniyadagi haydashi formuladan aniqlanadi.

$$Q = \eta \pi 2 \pi (R^2 - r^2) b \frac{\alpha^0 n}{360^0 \cdot 60^0}$$

bunda: R – nasos silindrik korpusini ichki radiusi;

χ – haydashda ishtirok etadigan va aylanish ukiga o'rnatilgan vtulkani radiusi;

α – qanot buriladigan burchak, asosan 90^0 ga yaqin kiymatga ega;

b – korpusning ichki eni; n – minutdagi ikki karra tebranish soni;

η_x – FIK yaxshi ishlangan nasoslarda $\eta_x = 0,8 - 0,9$.

Oddiy konstruksiyali qanotli nasoslar maxsus almashtiriladigan zichlagichlarga ega emas, shuning uchun bo'shliqlar orasidagi zichlik qanot va nasos korpusini sifatli tayyorlash va bir biriga moslashtirish bilan amalga oshiriladi. Bu nasoslarni kamchiligi ularni tez eyilishida, ayniksa kum bilan ifloslangan suv haydalganda. Shuning uchun $0,15 - 0,2 \text{ MPa}$ bosimda va katta so'rish balandligida, porsheni terili manjetarlar bilan zichlangan nasoslar qo'llaniladi.

VII bobga doir test-nazorat savollari

1. Nasos nima?

- a) Mexanik energiyani gidravlik energiyaga aylantirib beruvchi gidravlik mashina
- b) Elektr energiyani mexanik energiyaga aylantirib beruvchi gidravlik mashina
- c) Gidravlik energiyani elektr energiyaga aylantirib beruvchi gidravlik mashina
- d) Gidravlik energiyani mexanik energiyaga aylantirib beruvchi gidravlik mashina

2. Nasos agregati nima?

- a) Elektr dvigatel bilan nasos
- b) Generator bilan nasos
- c) Quvurlar bilan nasos
- d) Nasos va zadviyka

3. Nasos bosimi nima?

- a) Nasosdan chiqishdagi va kirishdagi solishtirma energiyalar farqi
- b) Nasosga kirishdagi va chikishdagi solishtirma energiyalar farki
- c) Yukori va pastki bef suv satxi belgilari farqi
- d) Pastki bef suv satxi va ishchi g'ildirak o'qi belgilari farqi

4. Nasos FIKi bu

- a) Nasos foydali quvvatini berilgan quvvatga nisbati
- b) Nasos istemol quvvatini foydali quvvatga nisbati
- c) Nasos uzatayotgan suv sarfini nasos bosimiga nisbati
- d) Nasos bosiminisuv sarfiga nisbati

5. Sug'orish tizimidada eng keng qo'llaniladigan nasos turi?

- a) Markazdan qochma
- b) O'qiy
- c) Vakuum
- d) Oqimli

6. Suv sarfi nol bo'lganda foydali quvvat qiymati nimaga teng?

- a) Quvvat nolga teng
- b) Foydali quvvat istemol quvvatiga teng
- c) Xisobli qiymat
- d) Maksimal qiymat

7. Nasosning asosiy kursatgichlaridan to'g'risini ko'rsating?

- a) Q, H, N, η, n
- b) Q, H, N, η, γ, U
- c) $Q, H, N, \eta, n, H_{\text{бак}}$
- d) $Q, H, N, \eta, n, H_{\text{суп}}$

8. Nasoslar nechta asosiy guruxga bo'linadi?

- a) ta
- b) ta
- c) ta
- d) ta

9. Qaysi nasoslar parrakli nasoslarga kiradi?

- a) Markazdan qochma
- b) Porshenli
- c) Erliiftlar
- d) Oqimli

10. Qaysi nasoslar dinamik nasoslarga kiradi?

- a) O'qiy
- b) Vintli
- c) Erliiftlar
- d) Oqimli

11. Qaysi nasoslar kinetik energiya hisobiga ishlaydi?

- a) Oqimli
- b) Erliiftlar
- c) Porshenli
- d) O'qiy

12. Qaysi nasoslarning ishchi g'ildirakiga suv uning aylanish o'qi orqali kirib radius bo'ylab chikadi?

- a) Markazdan qochma
- b) O'qiy
- c) Vakuum
- d) Oqimli

13. Qaysi nasoslarning ishchi g'ildirakiga suv uning aylanish o'qi orqali kirib va o'qi bo'ylab chikadi?

- a) O'qiy
- b) Markazdan qochma
- c) Vakuum
- d) Oqimli

14. Nasosning markasi D630-80. Bu nasosning turi qanday hisoblanadi?

- a) Ikki taraflama kiradigan markazdan qochma
- b) Parraklari buruvchan o'qiy
- c) Markazdan qochma konsol
- d) Markazdan qochma vertikal

15.Nasosning markasi 2K-20/30. Bu nasosning turi qanday hisoblanadi?

- a) Markazdan qochma konsol
- b) Ikki taraflama kiradigan markazdan qochma
- c) Parraklari buriluvchan o'qiy
- d) Markazdan qochma vertikal

16.Nasosning markasi D630-80. 630 raqami nimani bildiradi?

- a) Maksimal FIKda $\frac{m^3}{soat}$ o'lchamida berilgan nasosning suv sarfi
- b) $\frac{l}{s}$ o'lchamida berilgan nasosning suv sarfi
- c) Maksimal FIKda m o'lchamida berilgan nasosning bosimi
- d) Maksimal FIKda $\frac{kg}{m^2}$ o'lchamida berilgan nasosning bosimi

17.Nasosning markasi D630-80. 80 raqami nimani bildiradi?

- a) Maksimal FIKda m o'lchamida berilgan nasosning bosimi
- b) Maksimal FIKda $\frac{kg}{m^2}$ o'lchamida berilgan nasosning bosimi
- c) Maksimal FIKda $\frac{m^3}{soat}$ o'lchamida berilgan nasosning suv sarfi
- d) $\frac{l}{s}$ o'lchamida berilgan nasosning suv sarfi

18.Parrakli nasoslarga kiradi

- a) Markazdan qochma, o'qiy, diagonal
- b) Oqimli, uyurmali, erlift
- c) SHesternali, vintli, plastinkali
- d) Porshenli plunjerli, diafragmali

19.Markazdan qochma nasos qanday asosiy qismlardan iborat bo'ladi?

- a) Korpus, val, salnik, kirish va chiqish quvuri, ishchi g'ildirak
- b) Korpus, val, salnik, kirish va chiqish quvuri
- c) Korpus, val, salnik, kirish quvuri
- d) Korpus, val, salnik

20.O'qiy nasos qanday asosiy qismlardan iborat bo'ladi?

- a) Korpus, val, salnik, kirish va chiqish quvurlari, ishchi g'ildirak, to'g'rilovchi apparat
- b) Korpus, val, salnik, kirish va chiqish quvurlari
- c) Korpus, val, salnik, kirish quvuri
- d) Korpus, val, salnik, to'g'rilovchi apparat

21.Nasos agregatning qaysi qismi aylanish mexanik energiyani gidravlik energiyaga aylantirib berish uchun ishlatiladi?

- a) Ishchi g'ildirak
- b) Val
- c) Yo'naltiruvchi apparatning parraklari
- d) Generator

22. Nasos agregatning qaysi qismi aylanish mexanik energiyani ishchi g'ildirakga uzatib beradi?

- a) Val
- b) Yo'naltiruvchi apparatning parraklari
- c) Ishchi g'ildirak
- d) Generator

23. Qaysi suv ko'targichlar mexanik energiya hisobiga ishlaydi?

- a) O'qiy
- b) CHarxpalak
- c) Erlicflar
- d) Oqimli

a) Qaysi nasosning ishchi g'ildiragi parraklari buriluvchan?

- b) O'qiy
- c) Markazdan qochma
- d) Vakuum
- e) Oqimli

24. O'qiy nasos turlari

- a) O
- b) ЭЛБ
- c) D
- d) K

25. Nasosning markasi OII2-87. Bu nasosning turi qanday hisoblanadi?

- a) Parraklari buriluvchan o'qiy
- b) Ikki taraflama kiradigan markazdan qochma
- c) Markazdan qochma konsol
- d) Markazdan qochma vertikal

26. Nasosning qaysi turida uning sarfi ishchi g'ildirakning parraklarini burish orqali o'zgaradi?

- a) O'qiy parraklari buruvchan
- b) Konsol markazdan qochma
- c) Propellerli
- d) Ikki taraflama kiradigan markazdan qochma

27. Nimaga o'qiy nasosni bosimli quvurida zadviykani joylashtirilmagan xolda ishga tushiriladi?

- a) Ishga tushirish quvvatinikamaytirish uchun
- b) Kavitatsiya xosil bo'lmasligi uchun
- c) Ishga tushirishni osonlashtirish uchun
- d) Nasosning FIKni bir meyorda turishi uchun

28. Suv sarfi nol bo'lganda o'qiy nasos validagi quvvat nimaga teng?

- a) Maksimal qiymat
- b) Xisobli qiymat
- c) Quvvat nolga teng
- d) Foydali quvvat istemol quvvatiga teng

29. Kavitatsiya natijasida nima xosil bo'ladi?

- a) Yemirilish
- b) So'rilish
- c) Siyraklashish
- d) Hech narsa sodir bo'lmaydi

VIII BOB. GIDRAVLIK TURBINALAR

8.1.1. Gidravlik turbinalar to'g'risida umumiy ma'lumotlar

Ish g'ildiragining aylanishi natijasida suyuqlikning gidravlik energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beruvchi dvigatelga (gidrodvигatelga) **gidravlik turbina** deyiladi. Gidravlik turbina, gidroelektr stansiyalariga (GESga) o'rnatish uchun mo'ljallangan bo'lib, elektr generatorlarini harakatga keltirish uchun xizmat qiladi.

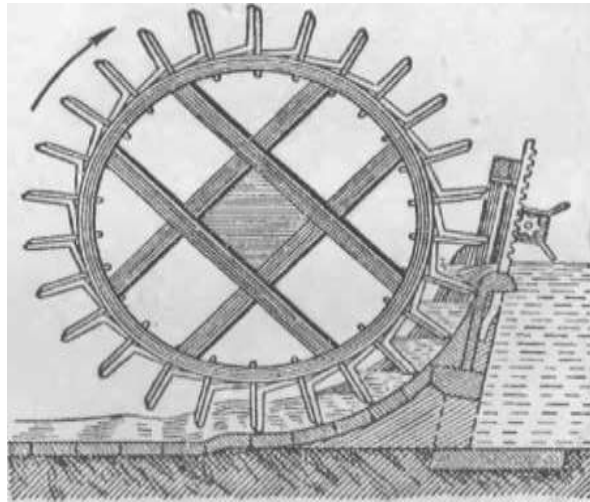
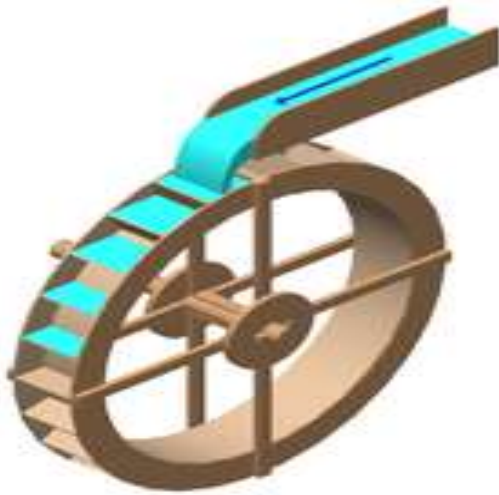
Insoniyat tarixida gidravlik dvigatellar (turbinalar) doimo muhim ahamiyatga ega bo'lgan. Juda ko'p asrlar davomida ishlab chiqarishda, har xil suv mashinalari asosiy energiya manbasi bo'lib kelgan. Sungra issiqlik (keyinroq elektr) dvigatellarning rivojlanishi natijasida, ularni qo'llash doirasi chegaralanib borgan. Biroq arzon gidroresorlar (tezligi katta daryo oqimlari, sharshalar yoki ko'p ostonali suv ob'ektlarida) bor bo'lgan barcha suv ob'ektlarida, suv dvigateli boshqalarga qaraganda afzalroq edi, chunki uning konstruksiyasi juda sodda, hech qanday yoqilg'i talab qilmaydi va boshqalarga nisbatan yuqori foydali ish koeffitsientiga ega.

XIX asrning birinchi yarmida juda katta foydali ish koeffitsientiga ega bo'lgan suv turbinasining yaratilishi bilan, gidroenergetika qaytadan tug'ilgandek bo'ldi. Butun dunyoda elektrlashtirishning boshlanishi bilan, gidroelektrostansiyalarning qurilishi boshlanib ketdi, va ulardagi generatorlar har xil konstruksiyadagi qudratli turbinalar bilan aylantirila boshladi. Hozirgi davrda ham gidroturbinalar gardaniga dunyoda ishlab chiqariladigan elektroenergiyaning ko'pgina qismi to'g'ri keladi. Shuning uchun ham bu ajoyib qurilma, insoniyat tomonidan qilingan eng ulkan ixtirolar qatoriga kirish huquqiga egadir.

8.1.2 Gidravlik turbinalarning rivojlanish tarixi suv g'ildiraklari.

Qadim zamonlardan odamlar dalalarga suv uzatuvchi, doni ezish uchun tegirmon toshini aylantiruvchi va boshqa moslamalarni harakatga keltiruvchi dvigatellar kuchiga ehtiyoj sezishardi. Qadimgi SHarq mamlakatlarida, Misrda, Hindistonda, Xitoyda eramizgacha bo'lgan 3 minginchi yillarda ham, ushbu maqsadlar uchun hayvonlar va qullardan foydalanishgan. Sungra tirik dvigatellar o'rnini, bir valdagi ikki dona disk va ularni birlashtirib turuvchi parraklardan iborat suv g'ildiraklari egalladi. Daryodagi suv oqimining parraklarga bosim berishi natijasida suv g'ildiraklari aylanib, val orqali harakatni tegirmon toshlariga uzatilgan (1-rasm) .

Birinchi suv g'ildiraklari suvni ko'tarish uchun Nil, Evfrat YAnszi daryolariga o'rnatilgan hamda ular qullar tomonidan harakatga keltirilgan. Sungra qadim greklar va rimliklar suv g'ildiraklarini nasoslar, tegirmonlar va yog' siqib chiqarish dvigatellarini harakatga keltirishda foydalanishgan. Shunday qilib, birinchi suv g'ildiraklaridan musqo'llar kuchidan foydalanib oddiy suv ko'tarish qurilmalari sifatida, va sungra har xil moslamalarni harakatga keltiruvchi dvigatel sifatida foydalanishgan. Asosan, suv g'ildiraklaridan tegirmonlarda donlarni yanchishda keng foydalanilgan.



8.1-rasm. Suv g'ildiraklari.

Eramizgacha bo'lgan juda ko'p asrlar davomida Xitoyda, Hindistonda, O'rta va Kichik Osiyo mamlakatlarida suv tegirmonlari bo'lgan. Rimlik yozuvchi Mark Vitruviy Polion eramizgacha bo'lgan 1- asrda, birinchi bo'lib suv g'ildiraklari to'g'risida ma'lumot bergan. Rimliklar Tibr daryosida langar tashlab suzib turuvchi tegirmonlardan, koloniyalardan olib kelingan donlarni yanchishda foydalanishgan. Ular arablar singari to'g'onlar ham qurishgan, hosil bo'lgan bosim ostida suv g'ildiraklari taxta tilish moslamalarini harakatga keltirgan.

Asrlar o'tishi bilan suv g'ildiraklarining o'lchamlari va samaradorligi oshib borgan. Angliya va Fransiya XI-asrda, 250 odamga bir dona tegirmon to'g'ri kelgan. Bu asrda tegirmonlarni qo'llash sohasi kengayib bordi. Ulardan movut ishlab chiqarishda, pivo ichimligini qaynatishda, yog'ochlarni kesishda, nasoslar bilan suv tortishda, yog'-moy juvozxonalarni harakatga keltirishda foydalanila boshlagan. Suv g'ildiraklari va shamol tegirmonlari, XVII-asr oxirigacha insoniyat foydalanadigan asosiy dvigatel turlaridan bo'lib qolgan (2-rasm).

Ulug' italyan olimi va rassomi Leonardo da Vinchi o'zining eskizlar kitobida, quyidagi bir necha suv g'ildiraklari va mexanizmlari hamda ularni qo'llash usullarining rasmlarini keltirgan: gidravlik arra-vertikal o'rnatilgan arrani hamda daraxt tanasi yotqizilgan aravachani harakatga keltiruvchi suv g'ildiragi; suv g'ildiragi bilan harakatga keltiriladigan Arximed vinti; pastgi idishdan suv olib yuqori idishga ko'tarib beradigan, idishlar o'rnatilgan suv g'ildiragi (charxpalak).

Gidrokuch qurilmalari Evropa mamlakatlari- Fransiya, Germaniya, SHvetsiya, Italiya, Ispaniya, Gretsiya va boshqalarda keng qo'llanila boshladi. Hidrokuch qurilmalarining eng mashhuriga misol qilib, 1682 yilda Sena daryosiga qurilgan saroyga va saroy atrofidagi Parij-Versal, Trianon, Marli fontalariga suv uzatuvchi qurilmani ko'rsatish mumkin.

Bezon shahridan Port-Marli shahrigacha bo'lgan uchastkada Sena daryosi ikki irmoqqa bo'lingan. Ularning biriga 1,65 m bosim hosil qiluvchi to'g'on qurilgan. Suv omboridagi suv, har birining diametri 12 m bo'lgan, suv oqimi pastgi qismiga uriladigan 14 dona suv g'ildiraklariga uzatilgan. Ulardan 221 nasos harakatga keltirilib, suv 162,15 m umumiy balandlikka ko'tarilgan. Ko'tarilgan suv akvedukka uzatilib, akvedukdan saroyga va Versal, Trianon, Marli fontanlariga

uzatilgan. Qurilma kuniga 5000 m³ suv uzatib turgan va quvvati 92 kVtgacha etgan.



8.2-rasm. Suv tegirmonlari

Suv g'ildiraklari. Hidravlik turbina suv g'ildiraklaridan kelib chiqqan. Suv tegirmoni, bizning davrimizgacha juda ko'p mamlakatlarda deyarli boshlang'ich ko'rinishda saqlangan qadimgi gidroenergetik qurilmaning yaqqol timsoli bo'la oladi.

Qadimgi suv g'ildiragi (eramizgacha bo'lgan 3500 yilda Mesopotamiyada kashf qilingan) *noriya* deb atalgan. Undan misrliklar va forslar dalalarni sug'orishda foydalanishgan. *Noriya* so'zi arabcha *naora* va ispancha *noria* so'zidan kelib chiqqan. Ushbu so'z ikkala tilda ham ustidan suv quyiladigan suv g'ildiragi ekanligini bildirgan (suvni yuqoriga ko'taruvchi).

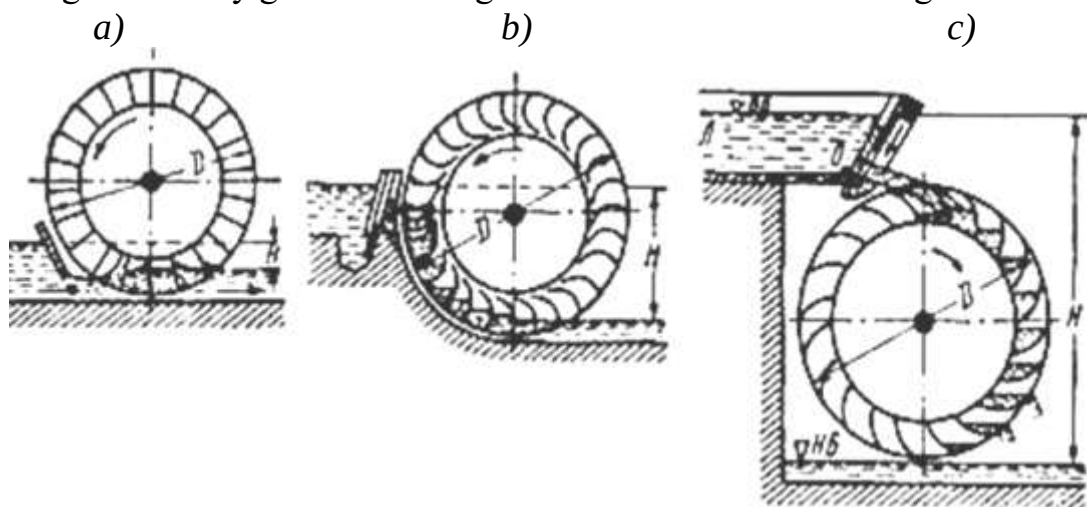
Noriyaning vatani, Oront daryosi bo'yida joylashgan Xamu shahri hisoblanadi. Birinchi bo'lib noriyalar shu shaharda qurilgan va sungra boshqa mamlakatlarga tarqalgan. Noriyaning tuzilishi quyidagicha bo'lgan: suv g'ildiragiga kovshlar-idishlar mahkamlangan, ular daryo suviga botirilib to'ldirilgan, suvga to'ldirilgan idishlar suvning gidravlik energiyasi yordamida aylanayotgan g'ildiraklar yordamida yuqoriga ko'tarilib, sug'orish kanallarini to'ldirgan. Daryo suvining tez oqishi tufayli insonning yordamisiz suv g'ildiragi kechayu-kunduz tinimsiz aylanib turgan.

O'qining joylashishi bo'yicha suv g'ildiraklari gorizontallarga va vertikkallarga (kurakchali, sharqiy, bolgarchalarga) bo'lingan. Gorizontall o'qli suv g'ildiraklari eng ko'p tarqalgan. Konstruksiyasi bo'yicha ular *pastiga suv uriladigan* (yoki *suv quyiladigan*), *o'rtasiga suv uriladigan* (*o'rtasiga suv quyiladigan*) va *yuqorisiga suv uriladigan* (*yuqorisidan suv quyiladigan*) larga bo'linadi.

Pastiga suv uriladigan g'ildiraklar suv dvigatelineng eng sodda turi hisoblanadi. Ular o'zlari uchun alohida kanallar yoki to'g'onlar qurilishini talab qilmaydi, ammo shu bilan birga eng kichik FIKga ega, chunki ularning ishlashi noqulay prinsipga asoslangan. Bu prinsip shunga asoslanganki, g'ildirak tagidan oqayotgan suv uning parraklariga urilib, g'ildirakni aylanishga majbur qiladi. Shunday qilib pastiga suv uriladigan g'ildiraklar, faqatgina suvning harakat kuchidan foydalanadi. Bu turdagi suv g'ildiraklari Markaziy Osiyo mamlakatlarida,

suv ko‘tarish qurilmasi sifatida keng qo‘llanilgan. O‘zbekistonda u «CHarxpalak» deb atalgan. Bugungi kunda ham muhimligini afzalliklarini yo‘qotmagan bunday sodda konstruksiyadagi ishlab turgan suv ko‘tarish qurilmalarini hali, ham respublikamizning kanallari va ariqlarida ko‘rish mumkin.

Pastiga suv uriladigan g‘ildiraklar kanallar, novlar qurishni talab qilmaydi, chunki ular erkin oqimli suv energiyasidan, ya‘ni uning tabiiy holatdagi kinetik energiyasidan foydalangan. Bunday g‘ildiraklar daryo va irmoqlarga bosim hosil qilish uchun to‘g‘on qurmasdan o‘rnatilgan, ularga energiya uzatish daryodagi suv oqimining zarbi orqali amalga oshirilgan. Suv g‘ildiraklarining mexanik kuchi, remenli (yoki tishli) uzatmalar yordamida val orqali mashinalarga uzatilgan. Pastiga suv uriladigan g‘ildiraklar, 0,1-1,0 m bosim va 1,0 – 5,0 m³/s suv sarfida qo‘llanilgan. Bunday g‘ildiraklarning FIK 30 - 40 % atrofida bo‘lgan.



8.3-rasm. Suv g‘ildiragining turlari:
a – pastiga suv uriladigan; b – o‘rtasiga suv uriladigan;
c – yuqorisiga suv uriladigan suv g‘ildiraklari.

Energetik nuqtai-nazardan qaraganda samaraliroq suv g‘ildiraklaridan biri, o‘rtasiga suv uriladigan g‘ildiraklar hisoblangan, chunki unda pastga tushayotgan suvning og‘irligidan ham foydalanilgan. O‘rtasiga suv uriladigan (*o‘rtasiga suv quyiladigan*) g‘ildiraklar, 1,5-5,0 m bosimda va 0,5 – 3,0 m³/s suv sarfida qo‘llanilgan. Kovshlarga suv, ish g‘ildiragining yarim balandligida yoki undan ham pastroqqa uzatiladi. FIK 0,5-0,6 gacha etadi.

Eng takomillashgan, eng yuqori FIK ga ega bo‘lgan g‘ildirak, yuqorisiga suv uriladigan (*yuqorisidan suv quyiladigan*) suv g‘ildiragi hisoblanadi. Bu turdagi g‘ildiraklar Ural va Oltoydagi zavodlarda keng qo‘llanilgan. K.D. Frolov tomonidan tayyorlangan g‘ildirakning diametri 16-19 m atrofida bo‘lgan (1765-1787 yillar) .

Yuqorisiga suv uriladigan (*yuqorisidan suv quyiladigan*) suv g‘ildiraklari, bosim 4-10 m va suv sarfi 0,5 - 1,5 m³/s bo‘lganda qo‘llanilgan. Olib keluvchi novdan g‘ildirakning eng yuqori nuqtasiga olib kelayotgan suv, kovshga tushib uni to‘ldiradi va og‘irlik kuchi bilan suv g‘ildiragini harakatga keltiradi. FIK 0,7-0,8 gacha etib boradi.

Bunday g‘ildirakning tuzilishi ham juda sodda. 8.2.3-rasmdan ko‘rinib turibdiki, katta g‘ildirak yoki barabanning gardishi bo‘ylab bir qancha kovshlar

o'tqazilgan. Novdan kelayotgan suv yuqori kovshga quyiladi. Suv bilan to'ldirilgan kovsh og'irlashadi, pastga tushadi va o'zi bilan gardishni pastga torta boshlaydi. G'ildirak aylana boshlaydi. Pastga tushgan kovsh o'rniga boshqasi keladi va suvga to'ldiriladi hamda pastga tusha boshlaydi. Ikkinchi kovsh o'rniga uchinchi va shu tariqa boshqalari kelib suvga to'ldirila boshlaydi. Suvga to'lgan kovshlar gardishning pastgi nuqtaga etganda ulardagi suvlar to'qiladi. Boshqa har qanday bir xil sharoitda, yuqorisiga suv uriladigan g'ildiraklarning quvvati pastga suv uriladigan g'ildiraklarning quvvatida katta bo'ladi, ammo u g'ildiraklarning gabariti katta bo'lib, uncha katta bo'lmagan aylanishlar tezligiga ega. Bundan tashqari ularni samarali ishlashi uchun talaygina suv bosimini hosil qilish, buning uchun esa qimmatbaho kanallar, to'g'onlar va boshqalarni qurish zarur edi.

Har qanday suv g'ildiragi, g'ildirak bilan birga aylanadigan valga o'rnatiladi va u orqali aylanma harakat, yana harakatga keltirilishi lozim bo'lgan mashinaga uzatiladi. Qadimda va o'rta asrlarda bunday dvigatellar ishlab chiqarishning har xil sohalarida keng qo'llanilgan, ularning yordamida bolg'alar, havo haydovchi temirchilik bosqonlari, nasoslar, yigiruv mashinalari va boshqa mexanizmlar harakatga keltirilgan.

Birinchi suv g'ildiraklari butunlay yog'ochdan tayyorlangan. Suv g'ildiragi 1 minutda 4-8 marta aylangan. Keyingi suv g'ildiraklari metallan yasala boshlagan va ular tez aylanadigan bo'lgan (aylanishlar soni 1 minutda 12 martagacha).

Dunyodagi eng katta (o'rtasiga suv uriladigan) suv g'ildiragi Rossiyada, Narva shahridagi Krenholm manafakturasiga o'rnatilgan. Diametri 9,15 m bo'lgan suv g'ildiragining quvvati, 5,18 m bosimda va 4,0-4,5 ayl./min. aylanishlar sonida 450 ot kuchiga teng bo'lgan. Bu gidroenergetik qurilma 1874 yilgacha ekspluatatsiya qilingan.

XVIII asrning boshlarida bunday gidrokuch qurilmalari, ishlab chiqarishning barcha sohalarini, manafaktura, metallurgiyu va boshqalarni qamrab olgan. Bug' mashinalari ixtiro qilinguncha, suv energiyasi ishlab chiqarishni harakatga keltiruvchi asosiy kuch hisoblangan.

Suv g'ildiraklarining asosiy kamchiliklari:

- ko'p joy oladigan, qupol;
- valining past aylanishi;
- past FIK.

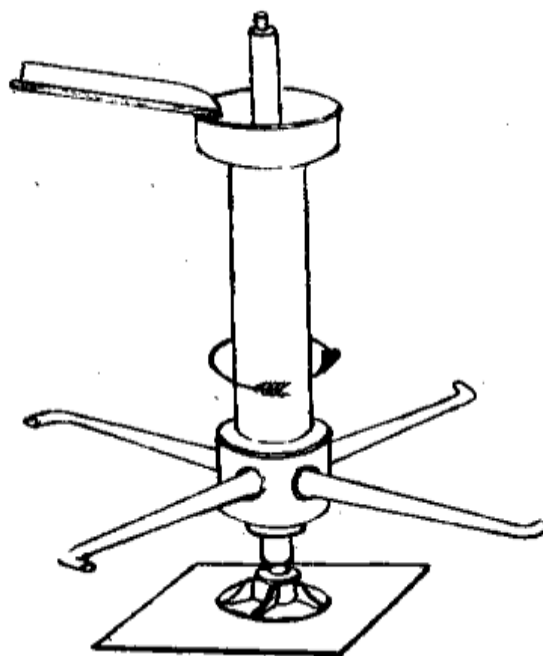
Zamonaviy gidroturbinalarni rivojlanish tarixi. Yuqorida keltirilgan kamchiliklarga qaramasdan suv qurilmalari shunday afzallikka ega edi (ushbu afzallik bilan juda tez rivojlangan bug' (issiqlik) energetikasi maqtana olmasdi), ya'ni ular qayta tiklanuvchi energiya turidan foydalanardi. Shuning uchun suv dvigatellarini rivojlanishi, ularning konstruksiyalarini takomillashtirish davom etdi.

1750 yilda Gettingen universitetida ishlovchi vengr olimi YAkob Segner, suv dvigateli to'g'risida butunlay yangi g'oyani ilgari so'rdi. Unga asosan suvning bosimi va og'irligi bilan birgalikda, suv oqimi hosil qiladigan reaksiya kuchidan ham foydalanish mumkinligi ko'rsatib berildi. Bungacha Segner g'ildiragining konstruksiyasi, matematik Daniilo Bernulli (1730 yil) tomonidan uning "*Hydrodynamika-Gidrodinamika*" asarida aytib o'tilgan edi.

Segner (Segner) YAnosh Androsh (1704-1777 yillar), venger matematigi va fizigi, peterburg Fanlar Akademiyasining chet ellik a'zosi (1754 yil), 1725 yildan

boshlab Germaniyada ishlagan. Har xil ilmiy asboblarni konstruksiyasini ishlab chiqish va takomillashtirish bilan shug'ullangan, jumladan birinchi reaktiv gidravlik turbinani (1750 yilda-segner g'ildiragini) ixtiro qildi. Segner g'ildiragi oqib chiqadigan suvning reaktiv harakatiga asoslangan asbob. Gorizontall tekislikda gardishsiz joylashgan g'ildirak bo'lib, parraklar o'rniga oxiri qayrilgan trubkalar bilan jihozlangan. Oxiri qayrilgan trubkalardan otilib chiqayotgan suvning reaktiv kuchi tufayli g'ildirak aylanib boshlagan.

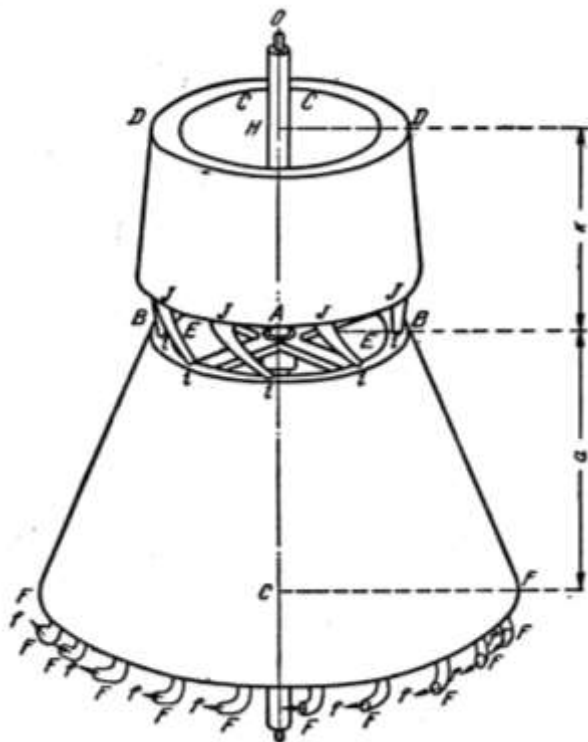
Bu qurilmaning harakatlanish prinsipi 4-rasmga asosan quyidagicha: suv yuqoridan idishga uzatiladi; idish pastiga u bilan bir o'q orqali ulangan, oxiri bir tomonga qayrilgan krest shaklidagi trubkalar joylashtirilgan. To'rt dona suv trubkalardan oqib chiqayotgan suvning reaksiya kuchi bir tomonga qarab ta'sir qiladi va g'ildirakni aylantira boshlaydi. Bu juda mohir va favqulodda topilma edi, ammo xuddi shu konstruksiyada u amaliyotda qo'llanmadi, biroq bir qancha injener va matematiklarda qiziqish o'yg'otdi.



8.4-rasm. Yakob Segner va uning ixtirosi («Segner g'ildiragi»)

Ulug' nemis matematigi L.Eyler, birinchilardan bo'lib o'zining bir necha maqolalarini Segner g'ildiragi tadqiqotlariga bag'ishlab, bu yangilikka o'z munosabatini bildirdi. Avvalo Eyler, Segner konstruksiyasidagi kamchiliklarni ko'rsatdi va g'ildirakning kichik FIK ratsional bo'lmagan energiya isrofining natijasi ekanligi ta'kidlab o'tdi. Sungra u bu isroflarni, agar yangi dvigatel g'oyasi to'liq amalga oshirilsa ancha kamaytirish mumkinligini to'g'risida yozdi. Ko'proq isroflar, avvalambor suvni g'ildirakka kirishida, suvning tezligi va yo'nalishini birdan o'zgarishidan kelib chiqadi (bunda energiya zarbga sarflanadi). Ammo bu isroflarni g'ildirakka suvni shu aylanish yo'nalishi va aylanish tezligi bo'ylab uzatilsa kamaytirish mumkin. Chiqishda ham isroflar mavjud, chunki energiyaning bir qismi suvning chiqish tezligi bilan olib ketiladi. Umuman suv o'zining hamma tezligini g'ildirakka berishi kerak. Buning uchun Eyler, suv chiqaruvchi gorizontall trubkalarni, yuqoridan pastga ketadigan egri chiziqli trubkalar bilan almashtirishni

taklif qildi. Unda suvni chiqarish uchun yonidan tirqish ochishga zaruriyat qolmasdi, chunki yopiq trubkaning pastdagi oxirini ochiq qoldirish mumkin edi. Kelajakda bu turdagi gidravlik mashina (asosan bunda gap gidravlik turbina to'g'risida gap ketgan ammo o'sha vaqti bu nom - termin hali ishlatilmasdi) quyidagi ikki qismdan iborat bo'lishini Eyler, oldindan aytib o'tgan edi: qimirlamaydigan yo'naltiruvchi moslama, bu moslama orqali o'tgan suv, mashinaning ishchi organi hisoblangan pastgi aylanuvchi g'ildirakka yo'naltiriladi. Aytib o'tilgan kamchiliklarga qaramasdan Eyler, Segnerning kashfiyotini juda yuqori baholadi va ziyraklik bilan Segner, kelajagi katta bo'lgan gidravlik dvigatellarning rivojlanishiga yangi yo'l ochganini ko'rsatib o'tdi.



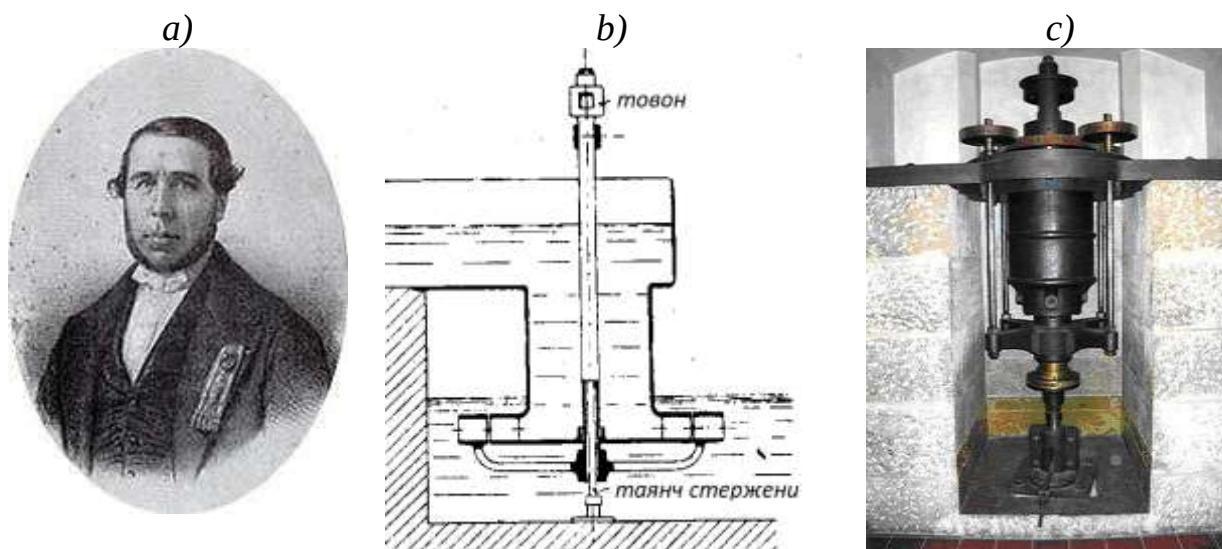
8.5-rasm. L.Eyler va uning qurilmasini chizmasi (turbina) .

Gidravlik turbinalar suv g'ildiraklariga qaraganda ko'prok takomillashgan dvigatel hisoblanadi: birinchidan, ularni osongina kichik suv sarflari va katta bosimlarda qo'llash mumkin; va ikkinchidan, ular yuqori FIKni beradi. Birinchi gidroturbinalar mohiyati jihatidan takomillashtirilgan suv g'ildiraklari hisoblanib, faqatgina quyidagi elementlar qo'shilgan edi:

- yo'naltiruvchi moslama;
- turbinada suvni radial yoki o'qi bo'ylab harakati yo'nalishini tashkil qilish;
- suv energiyasining reaktiv aktiv qismlaridan foydalanish.

Birinchi bo'lib 1827 yilda suv g'ildiragiga yo'naltiruvchi moslamani professor Klod Byurden qo'lladi. O' birinchi bo'lib o'zining mashinasini turbina (lotinchadan turbo – tez aylanish, «pildiroq») deb nomladi. Shundan sung turbina so'zi kundalik so'zga aylandi. Birinchi bo'lib amalda qo'llash mumkin bo'lgan turbinani 1832 yilda Klod Byurdenni shogirdi Benua Furneyron yaratdi. Uning turbinasi ikkita konsentrik bir-biriga qarshi yotgan g'ildiraklardan tashkil topgan: ichki, qimirlamaydigan, yo'naltiruvchi moslamadan iborat; va tashqi, qayrilgan parraklar bilan-va ular turbinaning ishchi g'ildiragi hisoblangan.

Suv turbinaga balanddan quvur orqali uzatilgan va yoʻnaltiruvchi moslamaning parraklariga kelib tushgan. Bu parraklar suvni egri chiziqli boʻylab harakatlanishga majbur etgan, natijada suv turbina gʻildiragining parraklariga zarbsiz, uning barcha ichki aylanasi boʻylab gorizontol holatda oqib kirgan, oʻzining barcha energiyasini gʻildirak parraklariga berib, sungra uning ichki aylanasi boʻylab bir xil oqib pastga tushgan. Turbina gʻildiragi mustahkam qilib, harakatni uzatuvchi vertikal val bilan ulangan. Furneyron turbinasining FIK 80% gacha etgan



8.6-rasm. Benua Furneyron va uning turbinasi:

a - Benua Furneyron; b - Furneyron turbinasining sxemasi; c-Furneyron turbinasi.

Furneyron tomonidan yaratilgan konstruksiya, keyingi turbinalar qurilishida muhim ahamiyatga ega edi. Ushbu ajoyib ixtiro toʻgʻrisidagi ovoza, juda tez Evropa boʻylab tarqaldi. Juda koʻp mamlakatlarning injener mutaxassisleri bir necha yil mobaynida eʼtiborsiz boʻlgan SHvarsvaldga, ishlab turgan Furneyron turbinasini, xuddi ulugʻ narsani koʻrishga kelgandek kelib turishdi. Tez orada turbinani butun dunyoda qura boshlashdi.

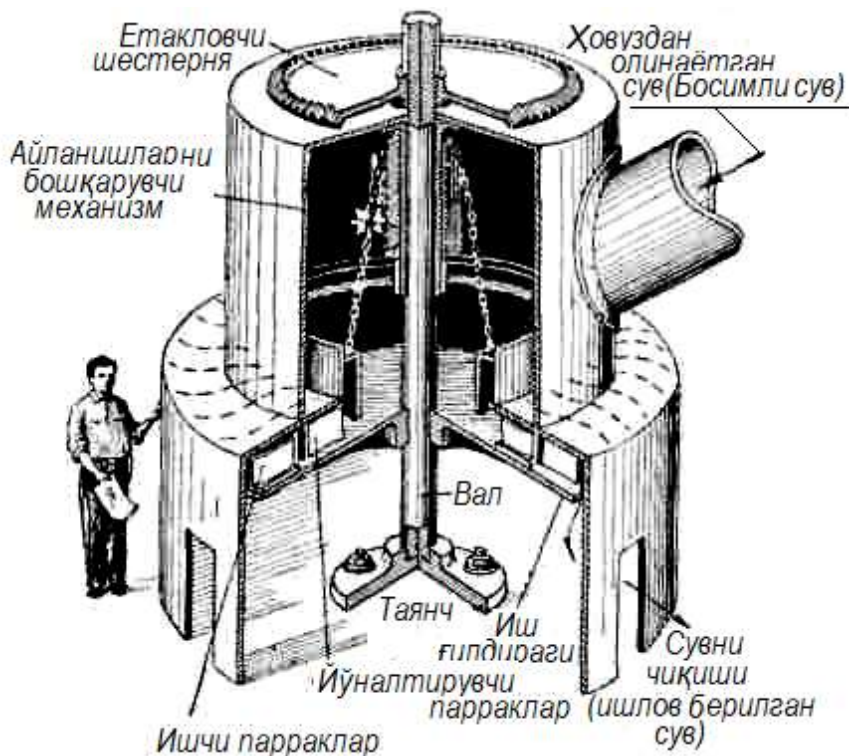
Furneyron oʻzining ixtirosini "Xalq sanoatiga koʻmaklashuvchi Parij jamiyati" tanloviga, etarli darajada quvvatli va amaliyotda qoniqarli ishlayotgan suv dvigatelini qurish boʻyicha tayyorladi. Furneyron turbinasi, tanlovning pul mukofati (6 000 frank) bilan taqdirlandi va 1883 yilda Fransiyaning Du shahridagi metallurgiya zavodiga quvvati 5,0 ot kuchlil mashina oʻrnatildi. Reaktiv turbinaning diametri 30 sm va aylanish tezligi 1 minutda 200 martadan ortiq edi. Shu kundan boshlab "**turbina**" soʻzi muomilaga kirdi.

Furneyron turbinasi ichki suv uzatiluvchi radial turbinalar turiga mansub edi. 1837 yili Furneyron turbinasi 110 m bosimda ishlab, quvvati 600 ot kuchiga etdi. 1855 yilga kelib Furneyron turbinasining quvvati 800 ot kuchigacha etdi.

"Gorizontol suv gʻildiragi" deb atalgan Ignatiy Safonovning gidroturbinasi 1837 yilda qurilgan edi. Turbina Alapaevsk choʻyan eritish va temir ishlari zavodidagi prokat stanogini harakatga keltirar edi. Katta quvvatli (35 ot kuchi) yangi suv dvigateli nisbatan uncha katta emasdi. Safonov turbinasining diametri ikki metrdan ortiqroq-bir necha barobar suv gʻildiragi diametridan kichikroq edi,

ammo suv g'ildiragi bajaradigan ishni bajarar edi. Bundan tashqari turbina quvvatni va aylanishlar sonini aniq boshqarish imkoniyatiga ega bo'lib, suvni ancha kamroq sarf qilar edi.

1839 va 1841 yillarda Safonov Uralda yana ikkita turbina qurdi, ulardan biri Neyvo-SHaytan zavodida temir prokati, duxoba va kesish stanlarini harakatga keltirar edi. Safonovning birinchi turbinasi suvning foydali qismi energiyasidan xuddi yaxshi suv g'ildiragi foydalangandek foydalandi, uning FIK 53 % ga teng edi. Safonov tomonidan keyinroq qurilgan mashinalarning FIK 70-75 % ni tashkil qilgan.



8.7-rasm. Safonov turbinasi (1837 yil)

1844 yilda Redtenbaxer o'zining "Turbina va ventilyatorlarning nazariyasi va tuzilishi" nomli kitobida turbinalar va bosim beruvchilar haqidagi barcha nazariya va tadqiqotlarni bir nazariyaga olib keldi. U nazariy jihatdan tashqi suv uzatishli radial turbinani yaratish mumkinligi isbotladi.

Bunday turbinalarni amerikalik injener Djeysms Frensis yaratdi va 1851 yilda Louell (Massachusetts shtati, AQSH) yaqinidagi kanallarda eksperimentlar o'tkazib ularni takomillashtirdi. Shuning uchun bu turbinalarni butun dunyoda Frensis turbinasi deb atashadi. Shu bilan birga Frensis faqatgina turbinani taklif qilmasdan balki, turbinani hisoblash tizimini taqdim etdi, xuddi shuningdek turbinalarni sinash bo'yicha kompleks tadqiqotlar o'tkazdi. Radial-o'qiy turbinalar odatda ish g'ildiragiga qattiq mahkamlangan katta diametrli parraklari bilan farq qiladi, ammo yo'naltiruvchi moslama ularda ham xuddi parraklari buraladigan turbinalarga o'xshash bo'ladi. Radial-o'qiy turbinalar eng eski turbinalar hisoblanadi ammo eng ko'p tarqalgan turbinalar turiga kiradi. Texnik oddiyliги (va mos holda arzonligi), juda keng diapozonli mumkin bo'lgan bosimi va suv sarfi, ularni lider sifatida tan olinishiga sabab bo'ldi. Dunyoning ulkan gidroelektrostansiyalarida mana shu turbinalar o'rnatilgan, turbinaning birlik quvvati bo'yicha rekord ularga tegishlidir.

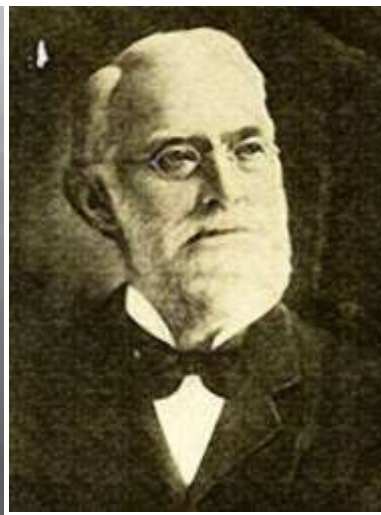
Frensis turbinasi bir necha marta takomillashtirildi, o'zining zamonaviy qiyofasiga 19 asrning oxirida nemis injeneri Fink tomonidan, yo'naltiruvchi apparatning buraladigan parraklari ixtiro qilingandan sung ega bo'ldi. Frensis turbinasi zamonaviy turdagi turbinalardan biriga aylanib bo'lgan edi. Frensis turbinasi Fink regulyatori bilan birgalikda uni elektrogeneratorga oraliq uzatuvchisiz (bir valga) ulash imkonini berdi va bu uni gidroenergetikaga keng tatbiq qilishni boshlanishi bo'ldi.



Djeyms Frensis



Viktor Kaplan



A. Pelton

8.8-rasm. Gidravlik turbinalarni ixtiro qilgan atoqli olim va tadqiqotchilar

Parraklari buraladigan turbinalar nisbatan yosh-ularga hali 100 yil to'lgani yo'q. 20 asrning boshlanishida dunyoda ikki xil turbinadan foydalanishgan: juda yuqori bosimli-kovshli va qolgan boshqa barcha holatlar uchun-radial-o'qiy. Shu vaqtning o'zida, katta bo'lmagan bosimlarga hisoblangan radial-o'qiy turbinalar, juda katta o'lchamlar va og'irlikka ega hamda mos holda narxi ham qimmat. Samaraliroq turbinalarni ixtiro qilish bo'yicha juda ko'p olimlar mashg'ul bo'ldilar, ammo muvaffaqiyat 1912 yili parraklari buriladigan turbinani patentlashtirgan avstriyalik injener Viktor Kaplanga nasib etdi. Ammo, texnologiyani o'rganish uchun yana 10 yil vaqt ketdi-bu turdagi birinchi turbina 1922 yilda GESga o'rnatildi. Butun dunyoda bu turdagi turbinani «Kaplan turbinasi» deb atashadi. Viktor Kaplan 1900 yilda Brno shahridagi nemis oliy texnika maktabida ishlaydi. 1913 yildan shu maktabning professori. Maktabda jihozlangan laboratoriya mavjud edi. Ushbu laboratoriyada Kaplan, gidravlik turbinalarining ishlashi bo'yicha nusxalarida tadqiqotlar o'tkazdi. Turbinalarning tezyurarligini oshirishga intilib, birinchilardan bo'lib parraklari buraladigan rekativ o'qiy turbinaning konstruksiyasini ishlab chiqa boshladi (1912 yildan boshlab) va unga 1920 yili patent oldi. Bunday turdagi turbinalarda yo'naltiruvchi moslamaga suvni radial uzatish va suvni yo'naltiruvchi moslama hamda ish g'ildiragi orasida katta oraliqda ish g'ildiragi bo'ylab o'qiy o'tishiga erishildi.

Konstruksiyasi jihatidan parraklari buraladigan turbinalar, radial-o'qiy turbinalardan katta farq qiladi. O'zining shakli bo'yicha ular kemalar vintni eslatadi. Burish mexanizmi ish g'ildiragi vtulkasida joylashgan va yog' bosimi

ostida harakatga keltiriladi. Parraklarni optimal burchakka burish, bosim o'zgarganda, turbinani katta FIK ishlashiga imkon beradi. Shu vaqtning o'zida, parraklari buriladigan turbinalarda imkoniyat chegaralangan-yuqori bosimda ular kavitatsiyani rivojlanishi tufayli samaradorligini yo'qotadi. Maksimal amalga oshirilgan bosim 70-80 m ni tashkil qiladi.

Dunyodagi eng katta parraklari buraladigan turbinalardan biri, Leningrad metall zavodida tayyorlangan va Dunay daryosidagi serb-rumin GESi Jerdap-1 ga o'rnatilgan turbina hisoblanadi. Ularning quvvati 200 MVtni tashkil qiladi.

Bu turdagi turbinalardan dunyoda eng kattasi, Venesueladagi Karoni daryosidagi Tokoma GESiga o'rnatilgan. Ularning quvvati 235 MVtga teng (generatorni quvvati 216 MVt) . Eng katta parraklari buraladigan turbinalar Saratov GESiga o'rnatilgan (ish g'ildiragi diametri 10,3 m)

Past bosimli qurilmalar uchun Kaplan gidravlik turbinalari, o'zining rivojlanish jarayonida 2 bosqichni bosib o'tdi. Ish g'ildiragidan suv o'tishini qiyinlashtiradigan har xil qismlarni yo'qotishga harakat qilib, V.Kaplan 1916 yildagi patentida gardishsiz trubinani taklif qildi va unga kemalarni harakatga keltiradigan vint shaklini berdi. Yo'naltiruvchi moslamaning buraluvchi parraklari bilan tartibga solib olingan to'liq bosimda natijasida, ish g'ildiragining tezyurarlik koeffitsienti 1000 gacha va FIK 80-82 % gacha ko'tarildi. Ammo tajribalar, ish g'ildiragiga suv to'liq olib kelinmaganda FIK birdan pasayib ketishini ko'rsatdi. Buning natijasida ish g'ildiragining parraklari buraladigan turi taklif qilindi. Shuning uchun bugungi kungacha bu turdagi turbinani, parraklari buraladigan turbina deb atashadi.

V.Kaplan o'zining bu turdagi turbinasi uchun birinchi bo'lib, turbina va yo'naltiruvchi moslama parraklarini avtomatik tarzda burishni taklif qildi.

150-300 m dan yuqori bo'lgan bosimlar uchun turbinalar, yuqorida yozilganlarga nisbatan butunlay boshqacha. Ularda, suv oqimini hosil qilib ish g'ildiragiga uzatuvchi 1 donadan 6 donagacha aylana kesimidagi soplolar bo'ladi. Uzatiladigan suv sarfi, soplolarning o'tish kesimini yopish bilan tartibga solinadi. Ish g'ildiragi, o'qiy va radial-o'qiy turbinalardek suv ostida emas balki, ochiq havoda ishlaydi. Yuqori tezlikdagi erkin suv oqimi, ikki kovsh shaklidagi ish g'ildiragi parraklariga uriladi. Kovshli turbinaning konstruksiyasi 1878 yili amerikalik injener A.Pelton tomonidan taklif qilinib, 1880 yilda patentlandi. A. Lester Pelton, Kaliforniyaning oltin konlaridagi ish g'ildiraklarini takomillashtirish davomida, Pelton g'ildiragi deb ataluvchi impulsli turbinani kashf qildi. Sopladan chiqayotgan suv oqimi, kovsh shaklidagi ish g'ildiragi parraklariga urilib, uni aylanishga majbur qiladi. Vertikal g'ildirak gorizontal o'qqa mahkamlanadi va suvning kuchli bosimi ostida samarali ishlay boshlaydi. 1880yilda Pelton ixtirosini patenlashtirdi va uni San-Fransiskodagi «Pelton Uoter Uil kompani» kompaniyasiga sotdi.

Amerikalik injener A.Pelton, yangi konstruksiyadagi ish g'ildiragini yaratib, oqimli turbinani takomillashtirdi. Bu g'ildirakda, ilgari oqimli turbinaning tekis parraklari, u ixtiro qilgan, birgalikda birlashtirilgan ikkita qoshiq shaklidagi maxsus parraklar bilan almashtirildi. Shunday qilib parraklar ilgargidek tekis emas balki, o'rtasi o'tkir qirrali botiq botiq shakliga olib kelindi. Bunday tuzilishdagi

parraklarda, suv oqimining juda kam qismi bekorga isrof bo‘lib, suv oqimidan to‘liq foydalanish imkonini berdi.

Manbadan kelayotgan suv Pelton turbinasiga quvurlar orqali uzatiladi. Suv ko‘p bo‘lgan joylarda quvur qalin, suv kam joylarda esa quvur yupqa qilib tayyorlandi. Suv uzatuvchi quvo‘rning oxiri torytirilib uchli qilindi yoki suv oqimi katta kuch bilan otilib chiqadigan soplo o‘rnatildi. Suv oqimi, o‘tkir qirrali qoshiq shaklidagi g‘ildirak parraklariga uriligandan sung ikkiga bo‘linib, parraklarni oldinga itara boshlaydi va ish g‘ildiragi aylana boshlaydi. Ishlatib bo‘liingan olib ketish quvuri orqali pastga oqib tushadi.

Ish g‘ildiragi parraklari va soplo bilan birgalikda yuqoridan cho‘yan yoki temir g‘ilof bilan berkitiladi. Kuchli bosimda Pelton turbinasi juda katta tezlikda, 1 minutda 1000 martagacha aylana boshlaydi. Qaerda kuchli bosim hosil qilish imkoni bo‘lsa undan foydalanish juda qulay edi. Pelton turbinasining FIK juda yuqori bo‘lib, 85% ga yaqinlashib qolgani sababli, undan foydalanish juda avj olib ketdi.

Yuqorida keltirilgan olim va ixtirochilardan tashqari gidravlik turbinalarning rivojlanishiga Jerar, Suppinger, Fonten, Jonval, Sveyn, Ponsele va boshqalar katta hissa qo‘shishdi.

XIX asrning ikkinchi yarmidan boshlab turbinalar ishlab chiqarish tez rivojlanib ketdi. Turbinalar ishlab chiqaruvchi juda ko‘p firmalar tashkil qilindi. Bo‘lar - «Foyt» Avstriya va Germaniyada, «Esher Viss» va «Sharmn» Shveysariyada, «Riva» Italiyada, KMV va «Noxab» Shvetsiyada, «Allis-Chalmers» AQSHda, «Xitachi» va «Toshiba» Yaponiyada, «Neyrpik» Fransiyada. Rossiyada turbinalar ishlab chiqarish bilan OAO "Silovye mashiny" (ilgarigi LMZ, «Leningrad metall zavodi») , ZAO "MNTO INSET" va Ukrainada PAO «Turboatom» (XTZ, «Xarkovturbina zavodi») .

Zamonaviy turbinalar ishlab chiqarishning asosiy g‘oyalari:

- ekspluatatsiya qilishning ishonchliligi va iqtisodiy samaradorligini oshirish;
- GESning energetik jihozlari va binolarining narxini kamaytirish maqsadida, kichik gabarit va kam og‘irlikda, hisob quvvatni ta‘minlab, gidroturbinalarning tezyurarliligini oshirish;

- hisobiy bo‘lmagan bosim va yuklanishda ishlayotgan agregatlarning energetik xarakteristikalarini yaxshilash va o‘rtacha ekspluatatsion FIKni oshirish;

- pastgi bef suv sathiga nisbatan turbinaning suv oqib o‘tadigan qismining emirilishini kamaytirish va o‘rnatish sathini pasaytirish maqsadida kavitatsion xarakteristikalarini yaxshilash, GES binosi bo‘yicha qurilish ishlari narxini keskin kamaytirishga olib keladi.

8.1.3. Turbinaning asosiy ko‘rsatgichlari

Gidravlik turbinaning asosiy parametrlariga quyidagilar taaluqlidir: bosim- N ; suv sarfi- Q ; quvvat- N ; FIK- η .

Turbinaning bosimi. Turbina bosimi- N , turbinaga 1-1 kirish kesimidagisolishtirma energiya- e_{kir} . bilan turbinadan 2-2 chiqish kesimidagi solishtirma energiyalar- e_{chiq} . farqiga teng

$$N = E_{kir} - E_{chiq}; \quad H = E_{kir} - E_{chiq}, [m] \quad (8.1)$$

Ma'lumki, oqayotgan suyuqlik oqimining solishtirma energiyasi teng:

$$E = \frac{p}{\rho g} + z + \frac{\alpha v_{ort}^2}{2g} = H \quad (8.2)$$

Unda quvurga kirishdagi solishtirma energiya teng bo'ladi:

$$E_{kir} = \frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \quad (8.3)$$

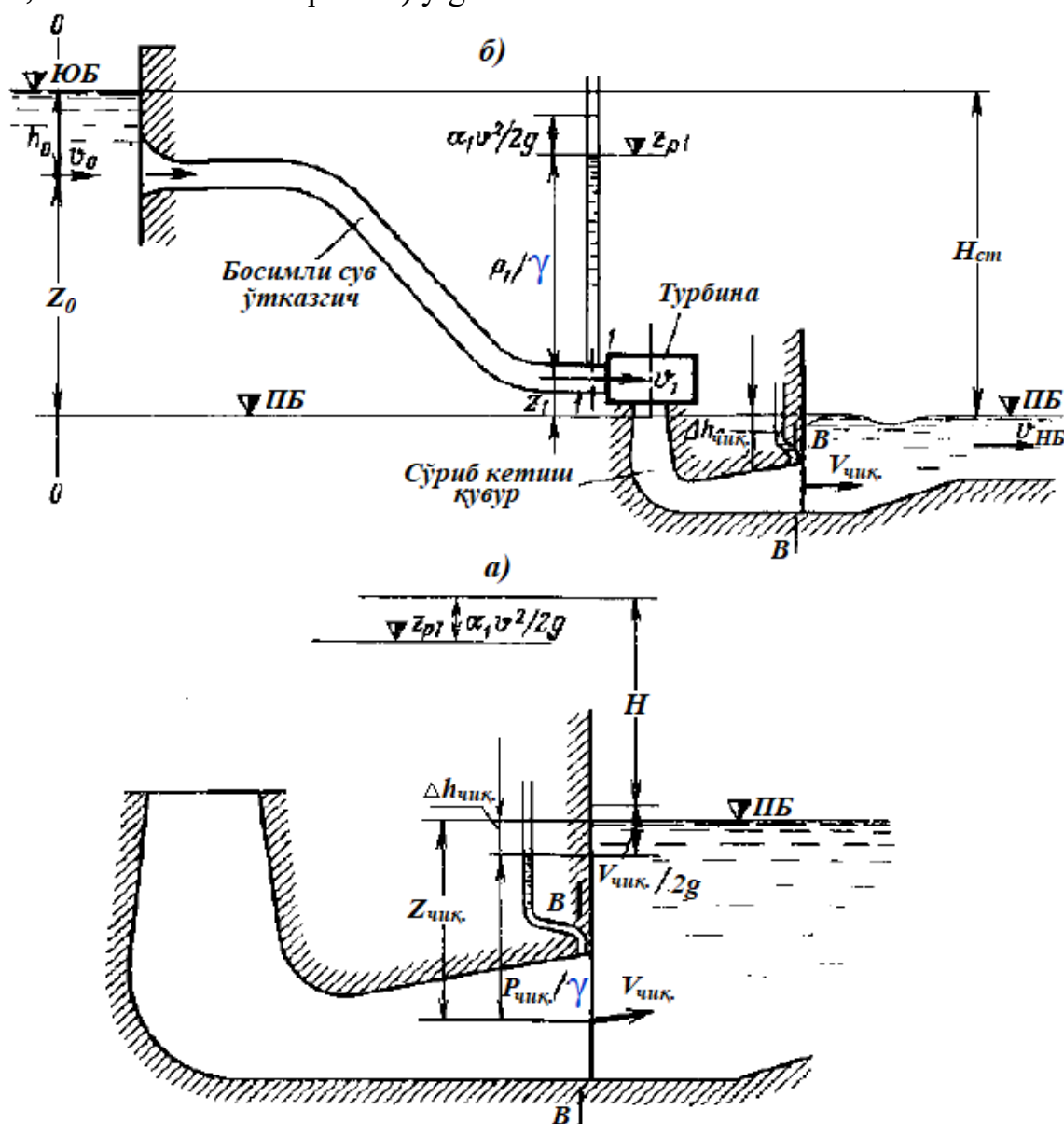
bunda: v_1 - 1-1 kesimdagi o'rtacha tezlik.

$\frac{p_1}{\rho g}$ ni topish uchun yuqori befndagi 0-0 kesim va pastgi bef sathiga nisbatan

1-1 kesim uchun Bernulli tenglamasini tuzamiz:

$$\frac{p_0}{\rho g} + z_0 + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \Delta h \quad (8.4)$$

Gidravlik qarshiliklar Δh , uzunlik bo'yicha va mahalliy qarshiliklar (kirishda, burilishda va boshqalarda) yig'indisidan iborat bo'ladi.



8.9-rasm. GESning suv oqib o'tadigan qismi

Chiqishdagi solishtirma energiya, V-V kesimdagi pezometrik sath $-\Delta h$ va tezlik hosil qilgan bosimlar $-\frac{v_{chiq}^2}{2g}$ yig'indisi sifatida aniqlanadi [Krivchenko]:

$$E_{chiq} = \Delta h + \frac{v_{chiq}^2}{2g} \quad (8.5)$$

Unda bosim quyidagi formula bilan ifoda qilinadi:

$$H = E_{kir} - E_{chiq} = H_{cm} - \sum h + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} - \Delta h_{chiq} - \frac{v_{chiq}^2}{2g} \quad (8.6)$$

bunda, H_{st} - GESning statik bosimi, yuqori va pastgi beflar farqidan iborat bo'ladi:

$$H_{cm} = \nabla YBB - \nabla YHB$$

Agar chiqish kesimi qilib, turbinadan ma'lum uzoqlikdagi, pastgi befdagi kesim olinsa, unda $E_{chiq} = \frac{\alpha_{pb} v_{pb}^2}{2g}$, va formula quyidagi ko'rinishni oladi.

$$H = H_{cm} - \sum h + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} - \frac{\alpha_{h\delta} v_{h\delta}^2}{2g} \quad (8.7)$$

Bunday bosim *netto bosim* deb ataladi.

$\frac{\alpha_0 v_0^2}{2g}$ va $\frac{\alpha_{h\delta} v_{h\delta}^2}{2g}$ juda kichik miqdor bo'lganligi uchun odatda ular amaliy

hisob-kitoblarda hisobga olinmaydilar va quyidagi formuladan foydalaniladi.

$$H = H_{cm} - \sum h \quad (8.8)$$

Turbinaning quvvati. Turbinaning quvvati deb, birlik vaqt ichida turbinadan o'tgan suyuqlik bajargan ishga aytiladi. Bunda turbinaning oqib o'tayotgan suyuqlikdan olayotgan energiyasi teng bo'ladi:

$$N_e = \rho g Q H = \gamma Q H, [Vt] \quad (8.9)$$

Har xil yo'qotishlardan (mexanik, gidravlik, hajmiy) tashqari bu quvvatning bir qismi, valga uzatilishi va boshqa energiya turiga aylantirilishi mumkin (generatorlarda, mexanik uzatmalarda va boshqalarda). Bu quvvat *foydali quvvat* deb ataladi (yoki oddiy *turbina quvvati*) deb ataladi.

$$N_{no.l} = N_{mypo} = \rho g Q H \eta = \gamma Q H \eta, [Vt] \quad (8.10)$$

Bu formulada: Q -cuv sarfi, birlik vaqt ichida turbinadan o'tgan suv hajmi (m^3/s , l/s);

η - turbinaning foydali ish koeffitsienti (FIK), turbinadan oqib o'tayotgan suyuqlikni gidravlik energisini valning aylanish mexanik energiyasiga aylantirishda hosil bo'ladigan har xil turdagi qarshiliklar tufayli isrof bo'lgan bosimni hisobga oladi.

Zamonaviy gidroturbinalarning FIK ancha yuqori va 0,9—0,95 yoki 90—95% nitashkil qiladi.

8.1.4 Turbinalar klassifikatsiyasi. turbinalarning turlari va ulardan foydalanish sohalari

Suqliklar mexanikasining asosiy qonunidan-Bernulli qonunidan- kelib chiqadiki, gidroturbinaning ish g'ildiragiga kirishdagi solishtirma energiya quyidagilarni tashkil qiladi (8.10-rasm) :

$$E_{kir} = Z_{kir} + \frac{p_{kir}}{\rho g} + \frac{v_{kir}^2}{2g} \quad (8.12)$$

Ish g'ildiragidan chiqishda esa –

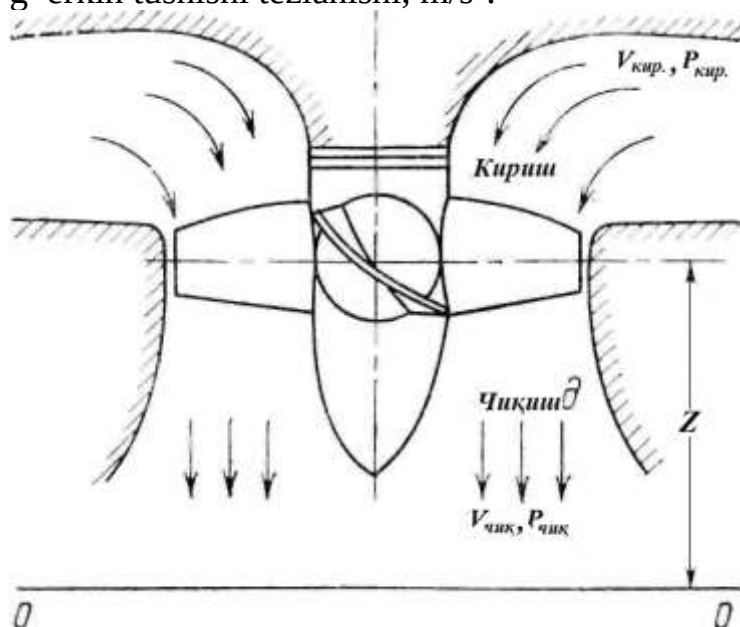
$$E_{chiq} = z_{chiq} + \frac{p_{chiq}}{\rho g} + \frac{v_{chiq}^2}{2g} \quad (8.13)$$

bunda: p_{kir} va p_{chiq} – gidroturbinaga kirishdagi va chiqishdagi bosim, Pa;

$\gamma = \rho g$ – suyuqlikning hajmiy og'irligi, t/m³;

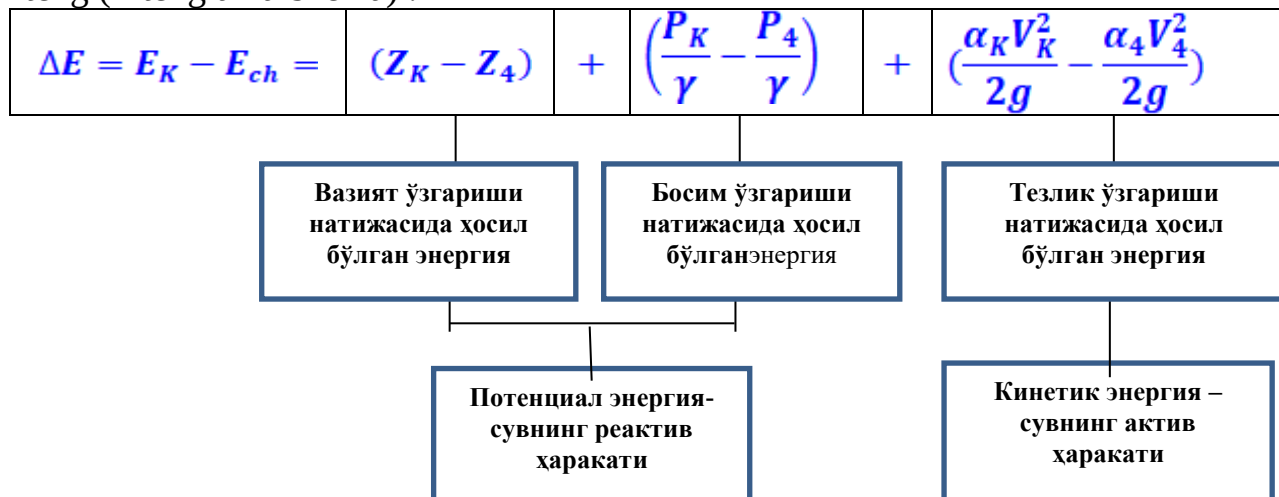
ρ – suyuqlikning zichligi, kg/m³;

g –erkin tushishi tezlanishi, m/s².



8.10-rasm. Gidroturbinaning ish g'ildiragida suyuqlikning harakatlanish sxemasi.

Shunday qilib, suyuqlikning gidravlik turbinaga berayotgan energiyasi (ΔE), uning ish g'ildiragiga kirishdagi (E_k) va undan chiqishdagi (E_{ch}) energiyalar farqiga teng (1-tenglama-sxema) .



8.11-rasm. 1-tenglama-sxema. Potensial va kinetik energiyaning tashkil qiluvchilari.

Shunday qilib, oqimning barcha energiyasi (8.11-rasm) , vaziyat o'zgarishi ($Z_{kir.} - Z_{chiq.}$) va bosim o'zgarishi ($\frac{p_{kup} - p_{chik}}{\gamma}$) natijasida hosil bo'ladigan potensial energiya va kinetik energiyadan ($\frac{v_{kup}^2 - v_{chik}^2}{2g}$) tashkil topdi.

Bernulli tenglamasidagi uch bo'lakdan qaysi biri bosim hosil qilishda qatnashishiga nisbatan, gidroturbinalar bir necha turlarga bo'linadi. Qisman bo'lsa ham potensial energiyadan foydalanuvchi gidroturbinalarga reaktiv gidroturbinalar deyiladi. Bunday gidroturbinalarda $Z_1 - Z_2 + \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} \right) > 0$, demak ish g'ildiragida energiya, ortiqcha bosim hisobiga o'zgaradi. Bundan tashqari, turbina ish g'ildiragida qisman oqimning kinetik energiyadan ham foydalaniladi.

Agar gidroturbina, oqimning faqat kinetik energiyasidan foydalansa, unda ular aktiv turbinalar deyiladi. Bunday turbinalarda $z_1 = z_2$; $p_1 = p_2$, ya'ni ish g'ildiragiga suv ortiqcha bosimlarsiz uzatiladi. Yuqori FIKga erishish uchun ularda deyarli hamma bosim tezlikka aylantiriladi.

Gidroturbinaning quvvati tenglamaga asosan quyidagicha yozilishi mumkin:

$$N_T = 9.81 Q_T H_T \eta_T \quad (8.14)$$

bunda: Q_T – turbinaning suv sarfi; N_T – turbinaning bosimi; η_T – turbinaning FIK.

Bu formuladan shu narsa kelib chiqadiki, Q_t va N_t larni xilma xil miqdorlarida, bir necha yuz qilovatt dan bir necha ming qilovattgacha quvvatni kichik suv sarfi- Q_t va katta bosimda- N_t olish mumkin yoki teskarisi bo'lishi mumkin.

Amaliyotda turbinalarni *sinflarga, tizimlarga, turlarga* va *sinflarga* bo'lish qabul qilingan.

Reaktiv gidroturbinalar sinfi quyidagi tizimlarni birlashtiradi: *o'qiy; propellerli va parraklari buraladigan; diagonal va radial-o'qiy*.

Aktiv gidroturbinalar sinfiga *cho'michli, qiya oqimli* va *ikki karrali* turbinalar tizimi kiradi. Oxirgi ikki tizim (*qiya oqimli* va *ikki karrali*) cho'michli turbinalar kabi juda keng tarqalmagan. 8.12-rasm da gidravlik turbinalar klassifikatsiyasi keltirilgan

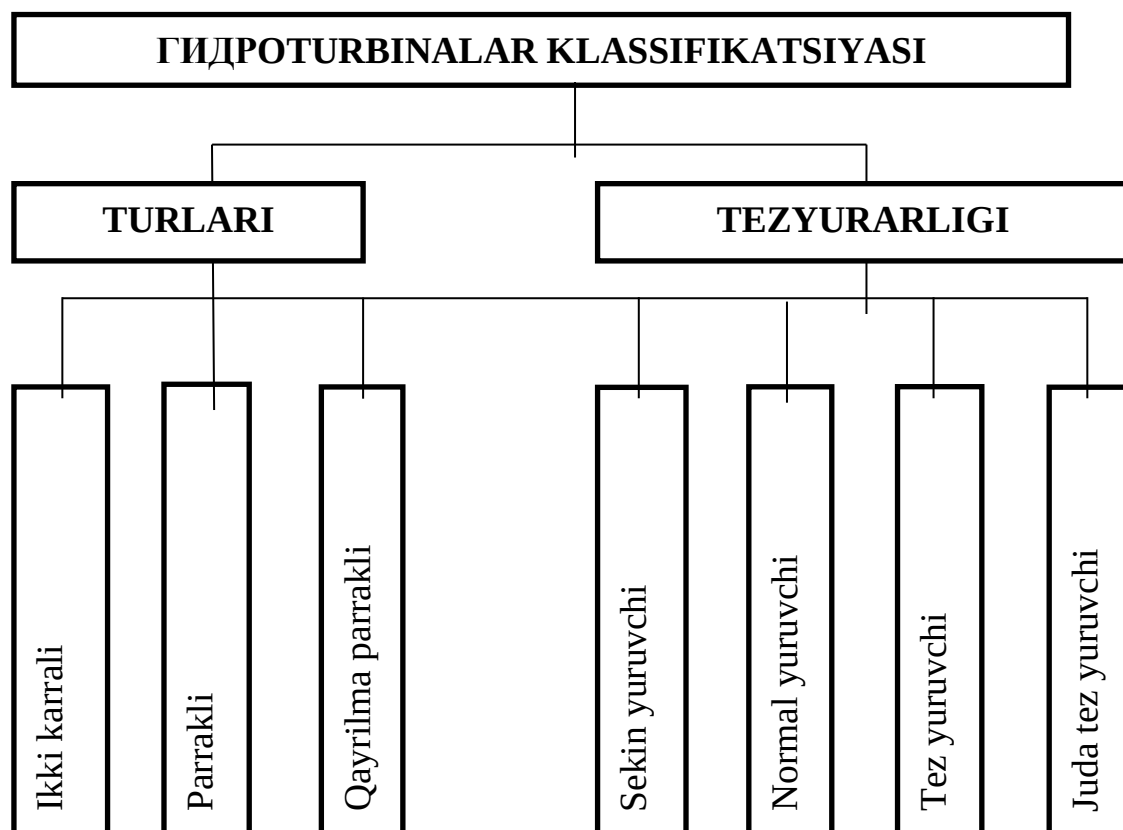
Gidroturbinaning suv oqadigan trakti uch elementdan iborat bo'ladi: ish g'ildiragi; ish g'ildiragiga suv olib keluvchi qurilmalar; ish g'ildiragidan suvni olib ketuvchi qurilmalar. Gidroturbinaning asosiy qismi ish g'ildiragi hisoblanadi. Ish g'ildirga parraklari bilan suv oqimining o'zaro ta'siri hisobiga gidravlik energiya boshqa energiyaga aylantiriladi. Shuning uchun turbina turi, asosan ish g'ildiragi shakli va suyuqlikni uning parraklari orasida harakatlanish shartlariga asosan aniqlanadi. Zamonaviy gidroenergetik qurilishda turbinalarning to'rt turidan (tizimidan) keng foydalaniladi. Ularning har biri, bosim bo'yicha -rasm da ko'rsatilgandek qo'llanish chegarasiga egadir (8.12-rasm) .

O'qiy turbinalar uncha katta bo'lmagan bosimda qo'llaniladi—70 m gacha.

Diagonal turbinalar 40 m dan 200 m gacha bosim oralig'ida ishlashi belgilangan.

Radial – *o'qiy* turbinalar, bosimning 50 -700 m oralig'ida qo'llaniladi.

Chomichli turbinalar, bosimning 400 -1700 m oralig'ida va undan ortiq bosimlarda qo'llaniladi.

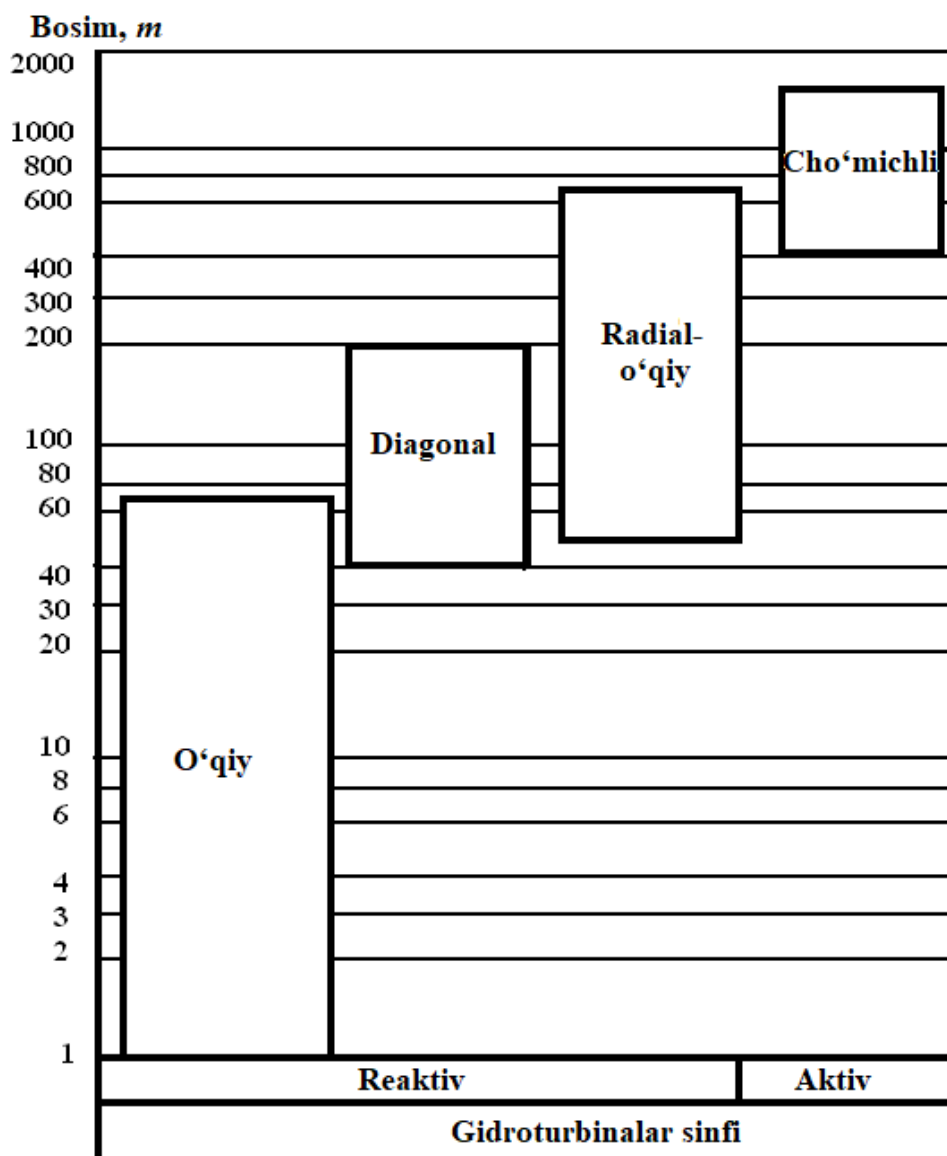


8.12-rasm. Gidravlik turbinalar klassifikatsiyasi.

Har xil turdagi gidroturbinalarni qo'llash chegarasi bir-birini qoplab ketadi. Masalan, 50-70 m bosimda ham o'qiy ham diagonal ham radial-o'qiy turbinalarni qo'llash mumkin. Eng yaxshi turbina turi, aniq sharoitni hisobga olgan holda, texnik-iqtisodiy solishtirish asosida tanlanadi.

Har bir tizim, geometrik o'xshash suv oqib o'tish qismiga va bir xil tezyurarlikka (1 m bosim ostida ishlayotgan turbina 1 ot kuchiga teng quvvat ishlab chiqargandagi aylanishlar soni) ega bo'lgan bir necha turlardan iborat bo'ladi, ammo ular o'lchamlari bilan bir-biridan farq qiladi. Geometrik o'xshash har xil o'lchamdagi gidroturbinalar seriyalarni tashkil qiladi.

Bundan tashqari hamma gidroturbinalar shartli ravishda kichik-, o'rta- va yuqori bosimlilarga bo'linadi. Past bosimli - $N_t < 25$ m, o'rta bosimli - $25 \leq N_t \leq 80$ m va yuqori bosimli - $N_t > 80$ m bosimlarda ishlaydigan gidroturbinalarga aytiladi.



8.13-rasm. Bosim bo'yicha har xil turdagi gidroturbinalarni qo'llash sohalari.

Gidroturbinalar xuddi shuningdek *kichik, o'rta va yiriklarga* bo'linadi.

Past bosimlarda ish g'ildiragi diametri $D_1 \leq 1,2$ m, katta bosimlarda $D_1 \leq 0,5$ m hamda quvvati 1000 kVt dan oshmagan turbinalar kichik turbinalarga taaluqlidir.

O'rta turbinalarga, past bosimda ish g'ildiragi diametri $1,2 \text{ m} \leq D_1 \leq 2,5$ m, katta bosimda $0,5 \leq D_1 \leq 1,6$ m hamda quvvati $1000 \text{ kVt} \leq N_t \leq 15000 \text{ kVt}$ bo'lgan gidroturbinalar kiradi.

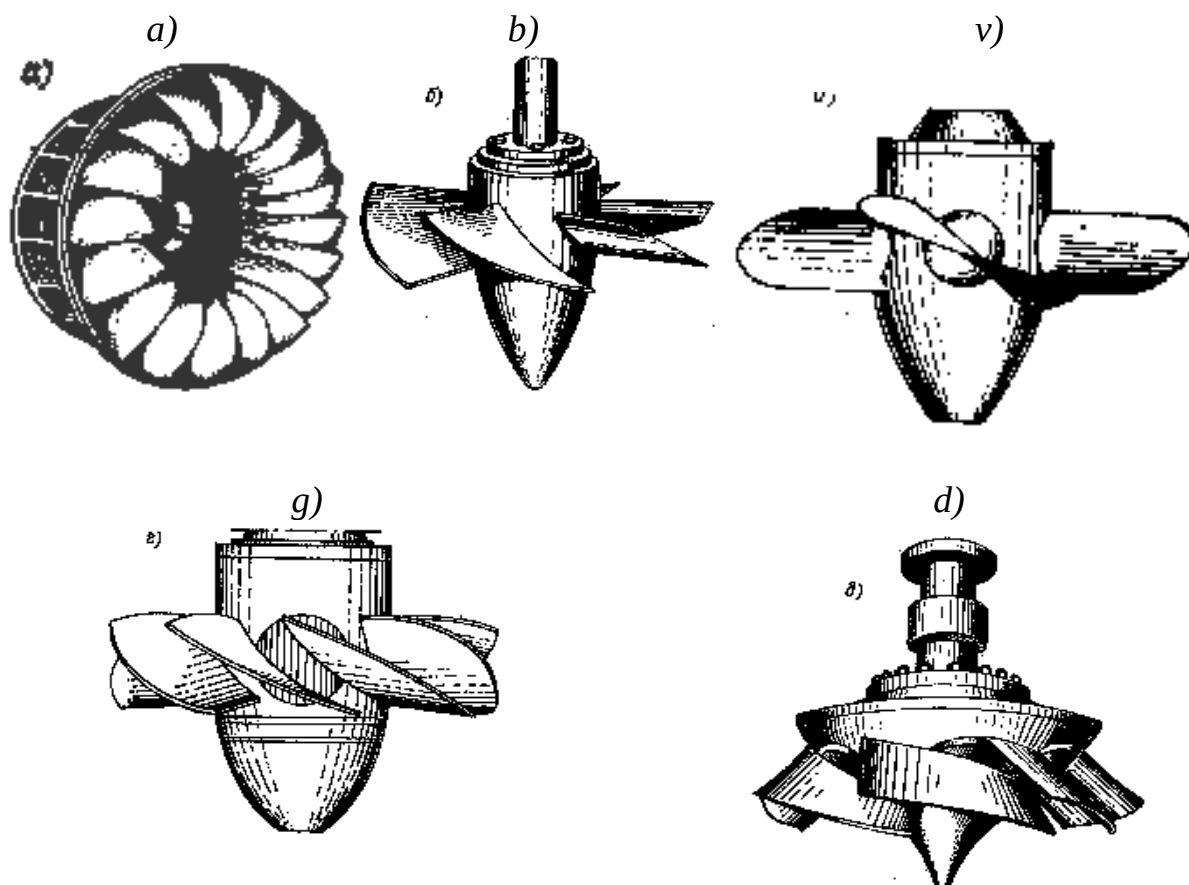
Yirik gidroturbinalar tarkibiga, ish g'ildiragi diametri - D_1 va quvvati - N_t o'rta gidroturbinalarnikidan katta bo'lgan turbinalar kiradi.

8.2. GIDRAVLİK TURBINALARNING KONSTRUKSIYALARI

8.2.1. Reaktiv turbinalar.

Propellerli va parraklari buriladigan o'qiy turbinalar

Reaktiv turbinalarga yuqorida ko'rsatilgandek quyidagilar kiradi: radial-o'qiy; propellerli; parraklari buraladigan (ikki qanotli ham kiradi) ; diogonalli. Ularning umumiy ko'rinishi 8.14-rasmda keltirilgan.



8.14-rasm. Reaktiv turbinalar ishchi g'ildiraklarining umumiy ko'rinishi:
a-radial-o'qiy; b-propellerli; v-parraklari buraladigan; g-ikki qanotli; d-diogonall

Reaktiv turbinalar uchun quyidagi asosiy belgilar xos.

1. Ish g'ildiragi to'liq suv ostida joylashadi, shuning uchun oqim ish g'ildiragining barcha parraklariga bir vaqtning o'zida energiya uzatadi.

2. Ish g'ildiragi oldida faqatgina suvning bir qism energiyasi kinetik energiya sifatida, qolgani potensial energiya, mos ravishda g'ildirakkacha va undan keyin bosimlar farqi sifatida namoyon bo'ladi.

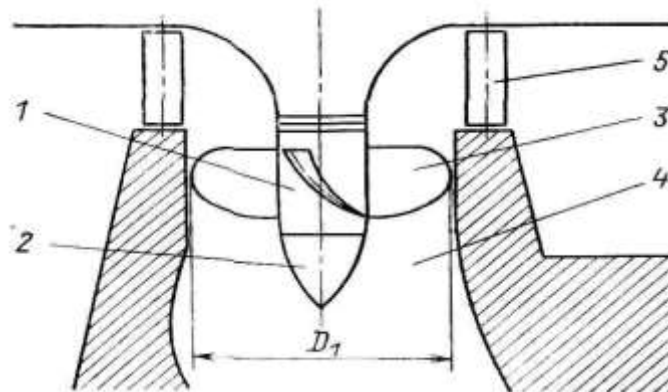
3. Ortiqcha bosim- $p/\rho g$, ish g'ildiragining oqim oqib o'tadigan trakti bo'yicha nisbiy tezlikni oshishiga, ya'ni parraklarda reaktiv bosimni hosil qilishiga sarf bo'ladi,

Parraklarni egriligi hisobiga oqim yo'nalishining o'zgarishi, oqimning aktiv bosimini hosil bo'lishiga olib keladi. Shunday qilib, oqimni ish g'ildiragi parraklariga ta'siri, nisbiy tezlikni oshishi natijasida hosil bo'ladigan reaktiv ta'sirdan hamda oqim yo'nalishining o'zgarishi natijasida hosil bo'ladigan aktiv bosimdan iborat bo'ladi

Propellerli gidroturbinalar (Pr) . Propellerli gidroturbinalar-ning ish g'ildiragi (8.15-rasm) , suvri shaklidagi obtekatelli korpusdan (vtulka-lardan) hamda ϕ -kengayish burchakda o'rnatilgan parraklardan tashkil topgan. 8.15-rasmdan ko'rinib turibdiki, ushbu ish g'ildiragi, radial-o'qiy gidroturbinalar ish g'ildiragidan gardishining yo'qligi, parraklarining kamligi va shakli (ushbu holatda u kemanding suzish vinti yoki propellerga o'xshaydi) bilan farq qiladi. Ish g'ildiragi parraklariga oqim faqatgina o'q bo'ylab uzatiladi, shuning uchun bunday gidroturbinalar **o'qiy turbinalar** ham deb ataladi.

Gidroturbinaning yo'naltiruvchi moslamasiga suv uzatish uchun turbina kamerasi xizmat qiladi. Ish g'ildiragini yo'naltiruvchi moslama perimetri bo'ylab bir xil suv bilan ta'minlash uchun turbina kamerasi, torayib boruvchi ko'ndalang qirqimda tayyorlanadi.

Ish g'ildiragining parraklari soni bosimga bog'liq bo'lib, 3 donadan 8 donagacha bo'lishi mumkin (bosim oshishi bilan parraklar soni ko'payib boradi) . Parraklar vtulkaga o'rtacha holat sanalgan ($\phi = 0$) doimiy burchak ostida $-\phi = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, +5^\circ, +10^\circ, +15^\circ, +20^\circ$ mahkamlangan. Odatda ish g'ildiragi diametri- $D_1 = 1,6$ m ga teng bo'lgan gidroturbinalar to'xtatilganda, uning parraklari burchaklarini o'sha holatda qoldirish yoki boshqa burchakka qaytadan o'rnatish imkoniyati qarab chiqiladi. Konstruksiyasining oddiyligi va FIKning yuqoriligi propellerli turbinalarning asosiy afzalliklari hisoblanadi. YUklamaning o'zgarishi bilan FIK birdan o'zgarib ketishi, ularning muhim kamchiliklaridan hisoblanadi.



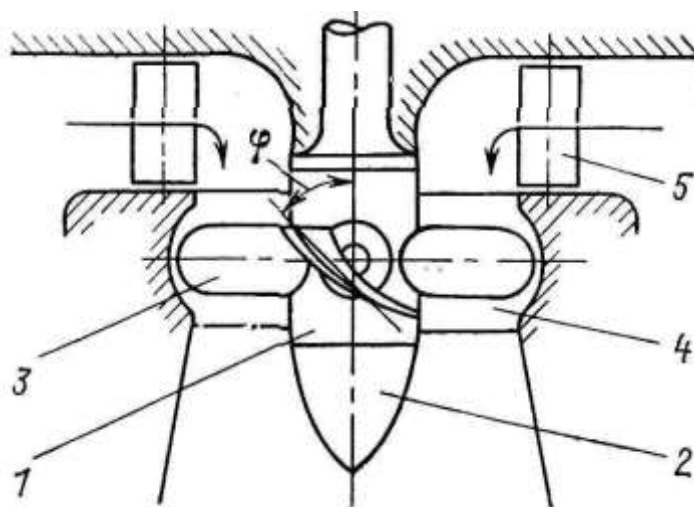
8.15-rasm. Propellerli turbinaning ish g'ildiragi:

1-vtulka, 2-oqib o'tuvchi-obtekatel; 3-ish g'ildiragi parraklari; 4- ish g'ildiragi kamerasi;
5 – yo'naltiruvchi moslamalar.

Yuqori miqdordagi FIK zonasi faqatgina juda kichik oraliqdagi quvvatlarda kuzatiladi. Mana shu kamchiligi uchun, propellerli gidroturbinalarni energiya defitsiti tizim-larida foydalanish samaradorligi tushib ketadi. Ammo, GESning asosiy vazifasi yuklamalar grafigining cho'qqisini yopish bo'lsa, ya'ni juda kam soatlarda GESning o'rnatilgan quvvatidan foydalanish kerak bo'lsa, bu kamchilik arziyas hisoblanadi. Ba'zan yirik GESlarda, FIKning maksimal miqdori diapazoni ko'proq cho'zilgan radial-o'qiy yoki parraklari buraladigan gidroturbinalar o'rniga propellerli gidroturbinalar o'rnatiladi.

Parraklari buriladigan gidroturbinalar (PL) . Konstruksiyasining bajarilishi bo'yicha parraklari buraladigan gidroturbinalar (chet ellarda kuni Kaplan turbini deb atashadi) propellerli gidroturbinalardan farq qilmaydi. Ammo uning

val o'qiga perpendikulyar joylashgan ish g'ildiragi parraklari, ish jarayonida o'z o'qi atrofida aylanib burchagini o'zgartirishi mumkin (2.1.3-rasm)



8.16-rasm. Parraklari buraladigan gidroturbinaning ish g'ildiragi.
1-vtulka, 2-oqib o'tuvchi-obtekatel; 3-ish g'ildiragi parraklari; 4- ish g'ildiragi kamerasi;
5 – yo'naltiruvchi moslamalar.

Bunday gidroturbinaning ish g'ildiragiga uzatayotgan quvvati va FIK, berilgan bosimda, yo'naltiruvchi moslama parraklarini ochiqqligi hamda vtulkaga nisbatan parraklarni burilish burchagi- φ ga bog'liq. Yo'naltiruvchi moslamaning har xil ochiqqliligida, parraklarning o'rnatilish burchagini o'zgartirish orqali, ya'ni har xil quvvatlarda, gidroturbina eng katta FIKga ega bo'ladigan parraklarni o'rnatilish burchagini topish mumkin. Konstruksiya jihatidan parraklari buraladigan gidroturbina shunday tayyorlanganki, bir vaqtning o'zida, yo'naltiruvchi moslamaning parraklarini ochilish darajasini ham o'zgartirish orqali, uning ish g'ildiragi parraklarini avtomatik tarzda ma'lum (optimal) burchakka burish mumkin (shuning uchun nomi parraklari buraladigan deb atalgan).

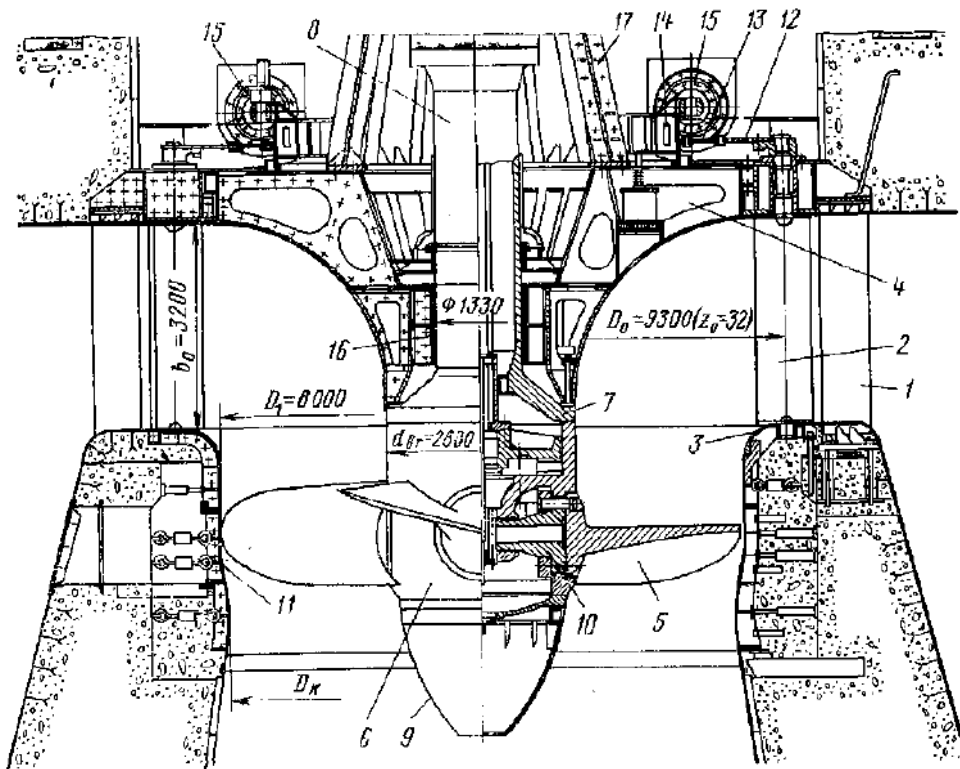
Parraklari buraladigan gidroturbinalardan 3÷5 m dan 35÷45 m bosim-larda foydalanish mumkin. Oxirgi vaqtlarda bu gidroturbinalarni radial-o'qiy gidroturbinalardan birqancha afzilliklarini ko'rsatish uchun ularni 70÷75 m hattoki 90 m bosimlarda ham qo'llashga muvaffaqiyatsiz harakat qilishmoqda.

O'lchamlari jihatidan dunyoda eng katta parraklari buraladigan gidroturbinalar, Saratov GESiga o'rnatilgan (ish g'ildiragi diametri 10,3 m). Bu gidroturbinalar Xarkov turbina (hozirgi «Turboatom») zavodida tayyorlangan.

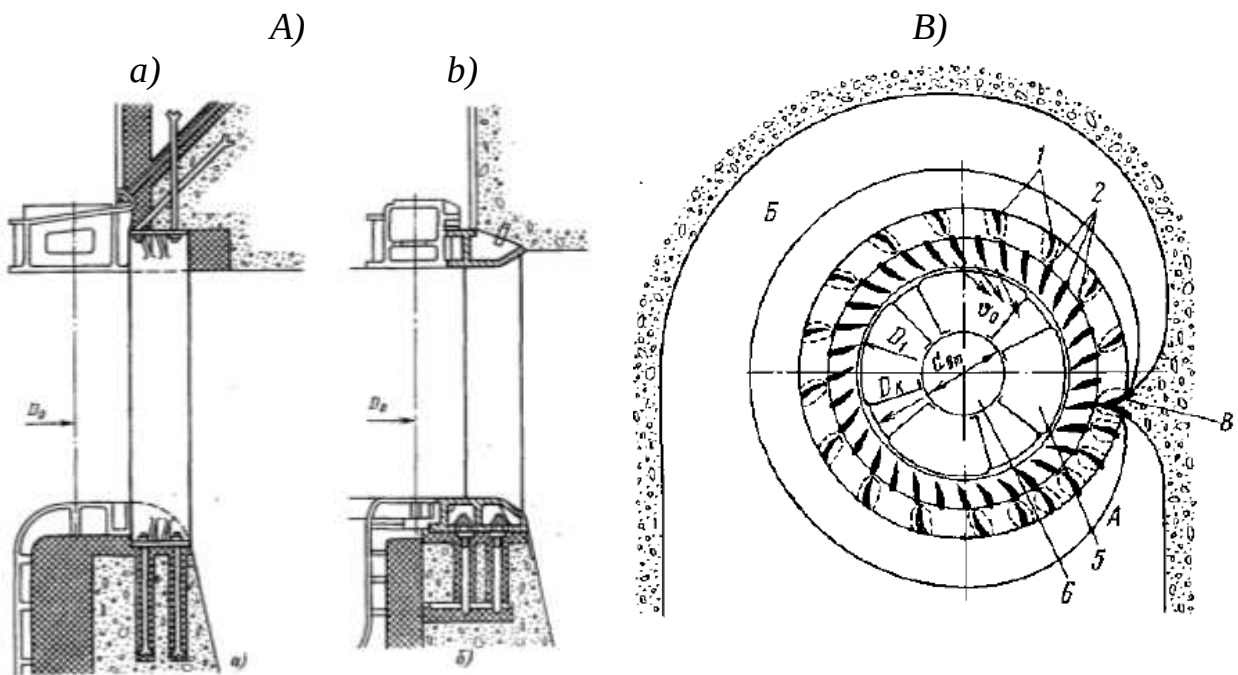
Gidroturbinaning olib keluvchi qismi turbina kamerasi, stator va yo'naltiruvchi moslamadan tashkil topgan. Barcha reaktiv gidroturbinalarda bu elementlarning tuzilishida juda ko'p umumiylik bor. Gidroturbinaning statori cho'zilgan, o'ng'ay oqib o'tadigan shakldagi ko'ndalang kesimli bir qancha kolonnalardan tashkil topgan. (8.18 Aa,b-rasm) Statorning asosiy vazifasi- turbina kamerasining yuqori va pastgi temir beton konuslari oralig'iga konstruksiyalar, jihozlar va suv bosimi keltirib chiqaradigan og'irliklar ta'sir qiladigan yuklarni-nagruzkalarni qabul qilishdan iborat.

Stator kolonnasi ankerlar yordamida har biri alohida, temir betonga mahkamlanishi (8.18-rasm) yoki juda mustahkam va tebranmas bo'lishi maqsadida,

yuqori va pastgi aylana po‘lat belbog‘lar bilan birlashtirilishi mumkin (8.18-rasm) .
Alohida kolonnalar, nisbatan kichik bosimlar (masalan, 8.18-rasm)



8.17-rasm. Parraklari buraladigan gidroturbinaning kesimi (KremenchugGESi, Rossiya) :
1-stator kolonnasi; 2 – yo‘naltiruvchi parraklar; 3 – pastgi gardish; 4 – turbinalar qopqog‘i;
5 – ish g‘ildiragi parraklari; 6 – vtulka; 7 – valning flanetsi; 8 – val; 9 – oqib o‘tuvchi;
10 – kamera; 11 – so‘ruluvchi segment; 12 – yo‘naltiruvchi moslamaning dastagi;
13 – sirg‘alar; 14 – tartibga soluvchi gardish; 15 – servomotorlar; 16 – podshipnik;
17 – generator podpyatnigining tayanch konstruksiyasi.



8.18-rasm. Statorning konstruksiyasi (A)
hamda parraklari qayriladigan gidroturbinaning ish g‘ildiragi va turbina kamerasi (B) .

Va katta diametrlarda qoʻllaniladi, belbogʻli statorlar-kattaroq bosimlarda va albatta turbina kameralari poʻlatdan tayyorlanganda yoki poʻlat bilan qoplanganda qoʻllaniladi. Stator kolonnalarining oʻrnatilish burchagi va profili, ularni oqim oqib oʻtganda yoʻqotishlar juda kam boʻlishiga qarab tanlanadi. Shuning uchun beton turbina kameralarda oqimni frontal uzatish zonasi (A zona, 8.18, B-rasmda) kesimi, spiralning B zonasiga nisbatan koʻproq qayrilgan. Spiralning tishi deb ataluvchi spiralning eng oxirgi stator kolonnasi V hambir xil qilib tayyorlanadi.

Yoʻnaltiruvchi moslama, yoʻnaltiruvchi parraklarni burilishiga imkon yaratadigan pastgi gardishga-3 va turbina qopqogʻiga-4 oʻq (sapf) bilan mahkamlangan yoʻnaltiruvchi parraklardan-2 tashkil topgan. Yoʻnaltiruvchi moslama, ish gʻildiragi oldida oqimning zarur boʻlgan yoʻnalishini hosil qiladi (v_0 tezligi 8.18, B-rasmda koʻrsatilgan), xuddi shuningdek uning yordamida turbinadan chiqayotgan suv sarfi va quvvatni oshishi ham tartibga solinadi. Quvvatni oshishi, hamma yoʻnaltiruvchi parraklarni burish orqali, yaʼni *turbinani ochilishini* oʻzgartirish orqali amalga oshiriladi. Turbinaning ochilishi-yonma-yon turgan parraklar orasidagi minimal masofa (a_0 — yoʻnaltiruvchi parraklar oʻrtasidan oʻtkazish mumkin boʻlgan silindrning maksimal diametri, 8.19, a-rasmda koʻrsatilgan). Toʻliq yopilgan holatda ($a_0=0$), parraklarning oxiri jipslashadi va turbinaga suv uzatilishi toʻxtaydi (8.19, b-rasm).

Quyidagilar yoʻnaltiruvchi moslama parametrlarining oʻziga xos xususiyatlaridan hisoblanadi.

1. Yoʻnaltiruvchi parraklar soni - z_0 . Uncha katta boʻlmagan bosimda, yirik oʻqiy turbinalarda ularning soni 32 donaga teng. (8.19 va 8.20-rasmlarda $z_0 = 32$ dona), kattaroq bosimlarda ularni 24 dona, baʼzi holatlarda esa 20 donadan oʻrnatishadi.

2. Yoʻnaltiruvchi moslamaning balandligi - b_0 (8.19-rasmda $b_0 = 3,2$ m). baʼzi holatlarda turbina turiga toʻliq baho beradigan oʻlchamsiz miqdorlarni, yaʼni yoʻnaltiruvchi moslama balandligini diametr ga nisbatini qoʻllashadi. Nisbiy balandlik-

$$\overline{b_0} = \frac{b_0}{D_1}, \quad (8.15)$$

bunda: D_1 -turbina diametri (ushbu holatda $D_1=8,0$ m va $\overline{b_0}=3,2/8,0 = 0,4$).

Oʻqiy turbinalarda $\overline{b_0}$, $0,45 \div 0,35$ oraliqda boʻladi (kichik miqdorlar katta bosimlar uchun).

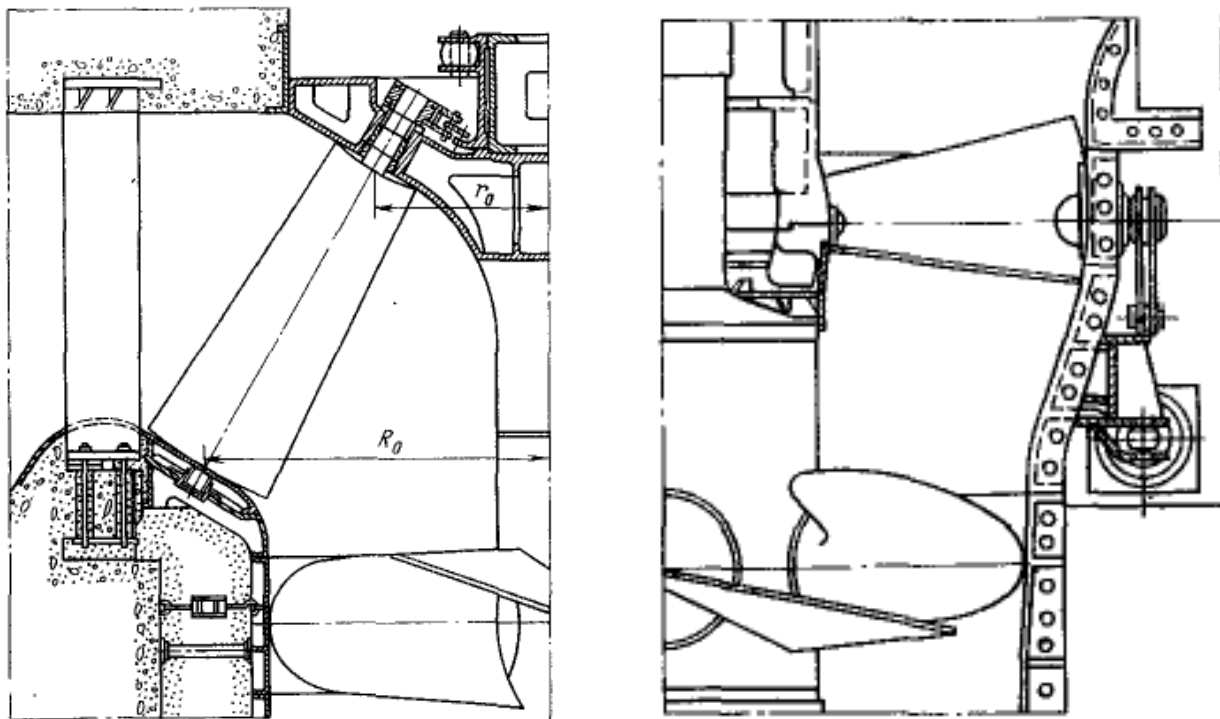
3. Yoʻnaltiruvchi moslamaning burilish burchagi boʻyicha diametri (ushbu holatda $D_0=9,3$ m). Yoʻnaltiruvchi moslamaning nisbiy diametri -

$$\overline{D_0} = \frac{D_0}{D_1} \quad (8.16)$$

Ushbu nisbat, koʻrilayotgan turbina uchun $\overline{D_0} = 9,3/8,0=1,16$ ga teng. Har xil turbinalar uchun $\overline{D_0}$ miqdorlar $1,16 \div 1,25$ oraliqida oʻzgarib turadi (uning miqdori, yoʻnaltiruvchi parraklarining sonining kamayishi bilan ortib boradi).

a)

b)



8.19-rasm. Diagonal (konussimon) (a) va o'qiy (b) yo'naltiruvchi moslamalar.

Yo'naltiruvchi moslamaning turi, oqimning meridional yo'nalishiga nisbatan aniqlanadi. Shuning uchun 8.19-rasmda ko'rsatilgan yo'naltiruvchi moslama *radialli*, 8.19, a-rasmdagi esa *diagonalli (konussimon)* va 8.19, b-rasmdagi esa *o'qiy* deb ataladi.

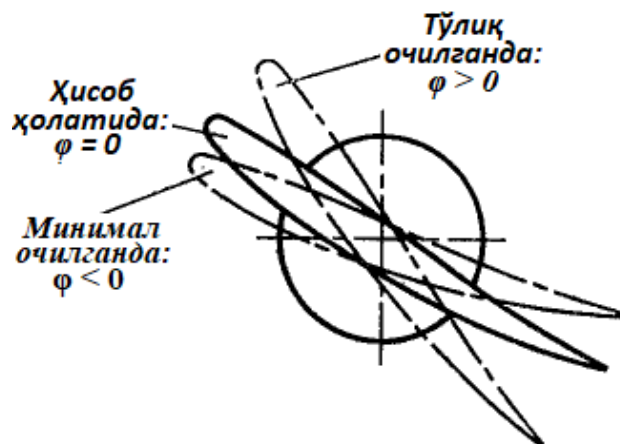
Ish g'ildiragi. Yo'naltiruvchi moslamaning parraklaridan o'tib aylanma harakat –zakrutka olgan suv oqimi, ish g'ildiragiga kelib tushadi. Ish g'ildiragining asosiy qismi (8.19 va 8.20-rasmlar) parraklar-5 va ular mahkamlanadigan vtulka-6 hisoblanadi.

Ish g'ildiragi boltlar yordamida valning-8 pastgi flanetsiga-7 ulangan. Vtulkaning chiqish oxiriga, oqimning uyurmaviy va pulsatsiyali harakatlari-dagi bosim isrofini kamaytiruvchi *oqib o'tuvchi-9* mahkamlanadi. O'qiy turbinaning parraklari qanotlar-pera va flanetsdan tashkil topgan. Qanot aslida parrak-nisbatan kichik qalinlikdagi egri chiziqli yuza bo'lib, unda ish g'ildiragi orqali oqib o'tayotgan oqim bilan o'zaro kuch almashish amalga oshiriladi.

Flanets, parraklarni flans bo'yniga mahkamlash uchun xizmat qiladi, uning yordamida parrak vtulkaga mahkamlanadi. Ba'zi hollarda, parraklar bo'yin bilan bir butun qilib tayyorlanadi, ammo bu ularni tayyorlash texnologiyasini qiyinlashtirib va qimmatlashtirib yuboradi.

Parraklarning shakli: flanetsga yaqin joylashganlariildizsimon-kornevyekekesimda-yo'g'onroq va tikroq, chetgi kesimlari-yupqaroq va qiyaroq. Bunday shakllar, suv oqimini parraklarni oqib o'tish gidravlikasi hamda mustahkamlik shartlariga bo'yicha aniqlangan. Parraklar qabul qiladigan yuklama juda katta, u parrakni barcha yuzasi bo'yicha taqsimlangan (masalan, 16 m bosimda ishlayotgan to'rt parrakli, ish g'ildiragi diametri 9 m bo'lgan turbinaning har bir parragiga, $1,8 \div 2,2$ MN yoki $180 \div 220$ tonna kuch to'g'ri keladi. Shunday qilib parrak, yuklamalar teng taqsimlangan konsol sifatida ishlaydi, moment esa ildiz

kesimlarida juda katta bo'лади, shuning uchun kesim, momentga qarshiligi mos qilib tayyorlanadi.



8.20-rasm. O'qiy turbina parraklarini buralishi.

Parraklari buraladigan turbina ish g'ildiraining asosiy xususiyatlari-dan biri, GES ishlab turgan vaqtda parraklar burish, ya'ni parraklarni o'rnatish burchagini o'zgartirishdan iboratdir. Parraklarni *hisob holati* deb, ularni dastlabki o'rnatish burchagi- φ ga aytiladi. Bu holatda- $\varphi=0$. O'rnatish burchagi tikligi oshirilganda- $\varphi>0$, tikligi kamaytirilganda- $\varphi<0$ (chet mamlakatlarda parraklar burchagini o'zgarish hisob holatini boshqacha qabul qilishadi, masalan, g'ildirakning aylanish o'qiga perpendikulyar bo'lgan tekislikka nisbatan)

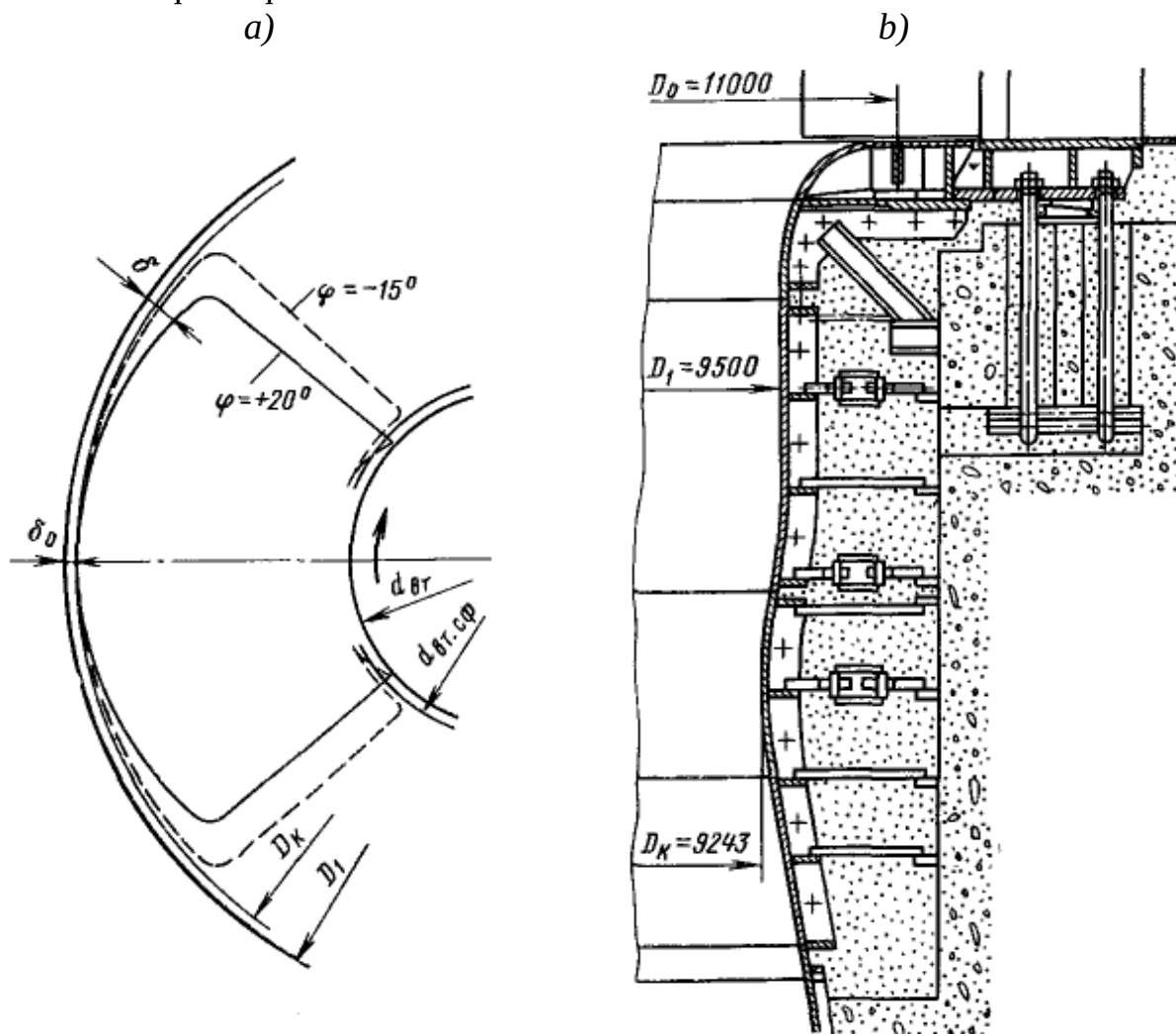
Turbina ish g'ildiragi parraklarining ochilish burchagi- φ , yo'naltiruvchi moslamaning ochilganligi- φ_0 va hisob bosimiga ($N(\varphi = f(a_0, N))$) nisbatan qat'iy talablar asosida o'rnatiladi. Bu bog'langanlik- $N(\varphi = f(a_0, N))$, *kombinatsiyaga asoslangan bog'langanlik* deyiladi, va u shunday o'rnatiladiki, barcha ishchi holatlarida turbinaning FIK eng yuqori miqdorlariga erishiladi. Shunday qilib, parraklari buraladigan turbinalarning quvvati ikki xil boshqariladi: *yo'naltiruvchi moslamaning ochilganligini o'zgartirish va ish g'ildiragi parraklarining o'rnatilish burchagini o'zgartirish* orqali. Bu usulda boshqarish, parraklari buraladigan turbina juda katta energetik afzalliklar beradi, ammo shu bilan birgalikda ularning konstruksiyasiga bir talay o'zgartirishlar kiritish, lozim bo'лади, ayniqsa ish g'ildiragiga, chunki bu jarayon juda quvvatli parraklarni buradigan mexanizmni talab qiladi.

8.21-rasmdan ko'rinib turibdiki, o'qiy turbinalar bosimning juda katta oralig'ida qo'llaniladi, eng kichik bosimdan 50÷70 m gacha. Tabiiyki bosim o'zgarishi bilan ish g'ildiragingining shakli ham o'zgaradi. Bu o'zgarish, parraklar soni va vtulkaning diametri- d_{vt} bilan yoki quyidagi nisbiy miqdor $\bar{d}_{\dot{a}\dot{o}} = \frac{d_{\dot{a}\dot{o}}}{D_1}$ bilan

xarakterlanadi. Bosimning oshishi bilan parraklarning yuzasi ham oshib boradi. Avvalo parraklarning o'lchamlari oshiriladi, sungra esa parraklarni soni ko'paytiriladi. Bu o'zgarishlar, parraklarni mahkamlash va ularni burish mexanizmini joylashtirish sharoitidan kelib chiqib, vtulka diametrini ham kattartirishga olib keladi. Vtulkaning nisbatan katta diametri, oqimning siqilishiga va natijada turbinaning ishlash sharoitini yomonlashuviga olib keladi. Yana shuni hisobga olish lozimki, vtulka va parraklar burilganda ularning oxiri orasidagi kichik

tirqishni saqlash hamda vtulkadan siriqib oqadigan suvni kamaytirish uchun vtulkaning markaziy qismiga sferik shakl beriladi.

Turbinaning navbatdagi elementi-betonli ankerlar va tortqichlar bilan mahkamlangan, mustahkam po'lat qoplamali ish g'ildiragining kamerasidir (8.21-rasm). Turbina kamerasining bunday mustahkamlanishini sababi shundaki, ish vaqtida kamera devorlari, suv bosimidan hosil bo'ladigan titrashlar natijasida, kamera qoplamalarini emiradigan juda katta o'zgarib turuvchi (pulsatsiyalanuvchi) yuklamalarni qabul qiladi



8.21-rasm. Ish g'ildiragi kamerasi

Parraklari buraladigan turbinalar uchun, ish g'ildiragi parraklarining oxiri bilan kamera orasidagi tirqish o'lchami juda katta ahamiyatga ega. Tirqish qancha kichik bo'lsa, siriqib oqadigan suv miqdori shuncha kam bo'ladi va FIK shuncha yuqori bo'ladi. Odatda yo'l qo'yiladigan tirqish $\delta = 0,001 D_1$ (diametr 9,5 m bo'lganda, tirqish kattaligi 10 mm atrofida) hisoblanadi. Parraklarni o'rnatilish burchagi o'zgartirilganda ham tirqish doimiy qolishi uchun, hildirakning ish g'ildiragi kamerasi shakli sferik bo'lishi kerak. Biroq bu holatda yig'ilgan ish g'ildiragini o'rnatishda qiyinchiliklar kelib chiqishi mumkin. Shuning uchun kameraning parraklarni burilish o'qidan yuqori qismi, silindr shaklida tayyorlanadi.

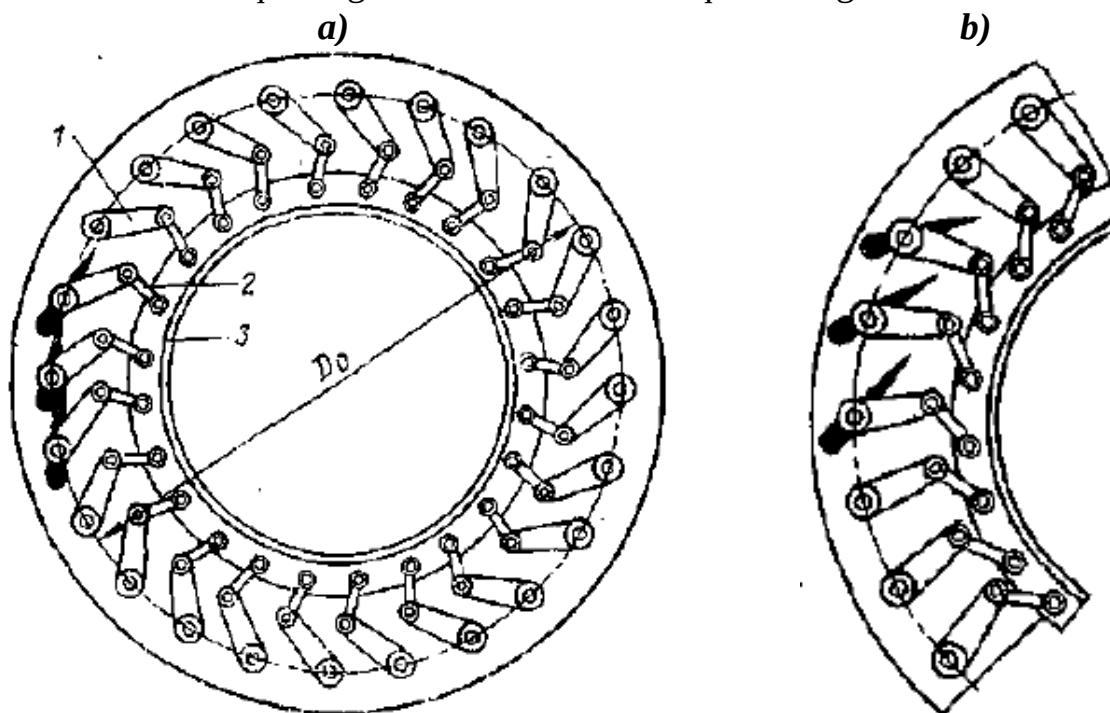
Kameraning pastgi, chiqish qismiga ham sferik shakl beriladi, ammo butun balandligi bo'yicha emas, balki, minimal chiqish diametri – bug'uzi ($0,98 \div 0,96$)

D_1 dan kichik bo'lishi lozim. Kesim yuzasini ko'p siqish ham, turbina FIKni tushib ketishiga sabab bo'ladi. Kameraning bunday shaklida tirqish- δ_0 , faqatgina parraklarni burilish o'qida doimiy bo'lib qoladi (8.21-rasm), uning oxirlarida, o'rnatish burchagining- φ ko'payishi bilan tirqish- δ_0 miqdori ko'payib boradi, ayniqsa parraklarga kirish oxirida.

So'rib ketish quvuri kengayib boruvchi diffuzor suv o'tkazgichdan iborat bo'lib, ish g'ildiragidan o'tgan suvni pastgi befga olib ketadi. O'qiy turbinalarning so'rib ketish quvuri katta o'lchamli bo'lganligi sababli, unga nisbatan GESning suv osti qismi o'lchamlari aniqlanadi. So'rib ketish quvuri turbinaning energetik ko'rsatgichlariga sezilarli ta'sir qiladi. So'rib ketish quvuri uzunligi bo'ylab suvning tezligini kamayishi, ayniqsa, past bosimli turbinalarning FIK hamda quvvatni oshishiga olib keladi.

Yo'naltiruvchi moslamani *harakatga keltiruvchi mexanizm*, turbina o'tkazayotgan suv sarfi va ko'payib borayotgan quvvatni o'zgartirish uchun, yo'naltiruvchi moslamaning parraklarini zarur bo'lgan burchakka buradi.

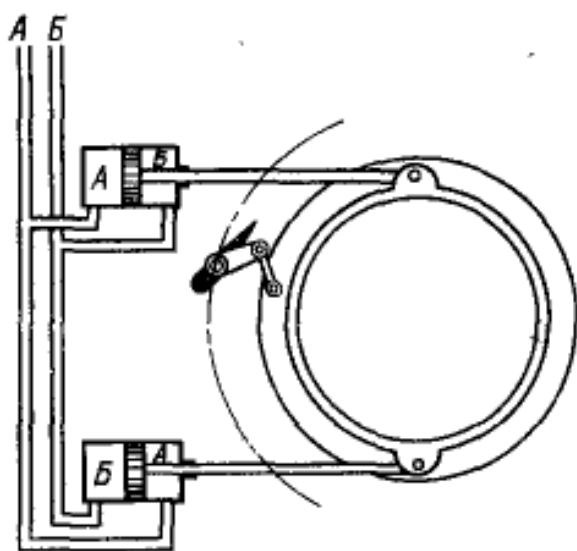
Bu mexanizm har qanday ochilishlarda ($a_0 = 0$ dan $a_0 = a_{maks}$ gacha) hamma parraklarni juda aniq qilib bir xil (a_0 ning bir xil miqdorlarida) o'rnatilishini ta'minlashi lozim, va suvning bosimi ostida yo'naltiruvchi moslama parraklarida yuzaga kelayotgan zo'riqishni hamda sapfa va harakatga keltiruvchi mexanizmning boshqa tarkibiy qismlarida hosil bo'ladigan ishqalanish kuchlarini engish uchun etarli quvvatga ega bo'lishi kerak. Yo'naltiruvchi moslamani harakatga keltiruvchi mexanizmning ko'proq qo'llanadigan sxemasi 8.22-rasmda ko'rsatilgan. Turbina qopqog'ining ustidan chiqib turuvchi yo'naltiruvchi parraklar sapfasining yuqoridagi oxiriga dastaklar-1 o'rnatilgan. Dastaklar sereglar-2 yordamida boshqaruvchi gardish-3 (8.21-rasm) bilan birlashtirilgan. Bu uch element, harakatga keltiruvchi mexanizmning asosiy qismlaridan hisoblanadi. Sereglar dastaklar va boshqarish gardishi bilan sharnirli qilib ulangan.



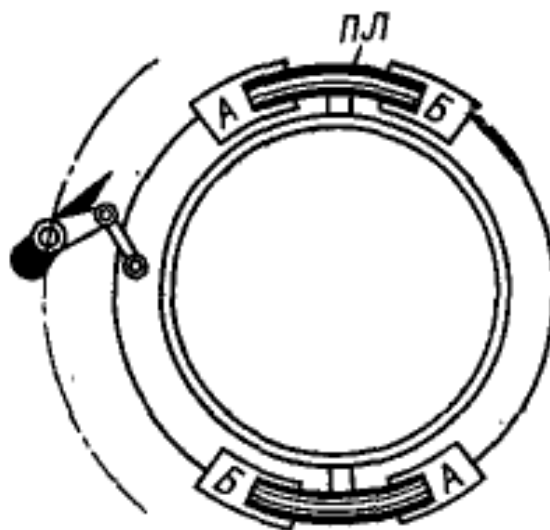
8.22-rasm. Yo'naltiruvchi parraklarni harakatga keltirish:
1- dastaklar; 2- sereglar; 3- boshqaruv gardishi.

8.22, *a*-rasmda harakatga keltirish mexanizmi to'liq yopilgan holati ko'rsatilgan. Agar boshqaruv gardishi soat strelkasiga teskari buralsa, unda hamma dastaklar va ular bilan birga yo'naltiruvchi parraklar ham bir xil burchakka, ochilish tomonga qarab buraladi. 8.22, *b*-rasmda harakatga keltirish mexanizmining to'liq ochilgan holati ko'rsatilgan. Shunday qilib, *turbinaning quvvatini o'zgartirish uchun boshqaruv gardishini burish kerak*. Yo'naltiruvchi parraklar yoki harakatga keltiruvchi mexanizmni, parraklarni yopishda ularning orasiga suv bilan kelib qolgan qandaydir qattiq jism tiqilib qolganda shikastlanishini oldini olish uchun ilgaridan, bo'shatilgan halqalar, boltlar va boshqalar tayyorlab qo'yiladi.

Yo'naltiruvchi moslamaning servomotorlari, boshqaruvchi gardishlarni siljitish uchun zarur bo'lgan juda katta o'zgarib turuvchi zo'riqlashlarga ega bo'lishi, va yana xuddi shu vaqtning o'zida, yo'naltiruvchi moslamani bir tekis va aniq ochilishini amalga oshirishga qodir bo'lishi kerak. Bunday xususiyatga, gidroturbinalarni boshqarishning barcha tizimlarda qo'llaniladigan va yuqori bosim ostida uzatiladigan yog' yordamida harakatga keladigan gidravlik servomotorlar ega bo'ladilar. Boshqaruvchi gardishlarni siljituvchi servomotorlarning odatdagi sxemasi 8.23-rasmda ko'rsatilgan. Bu rasmda, har biri boshqaruvchi gardishning tortish kuchi bilan ulangan silindr va porshendan tashkil topgan ikkita servomotor ko'rsatilgan. 8.24-rasmda servomotorlar-15 va boshqaruv gardishlari-14 ko'rinib turibdi.



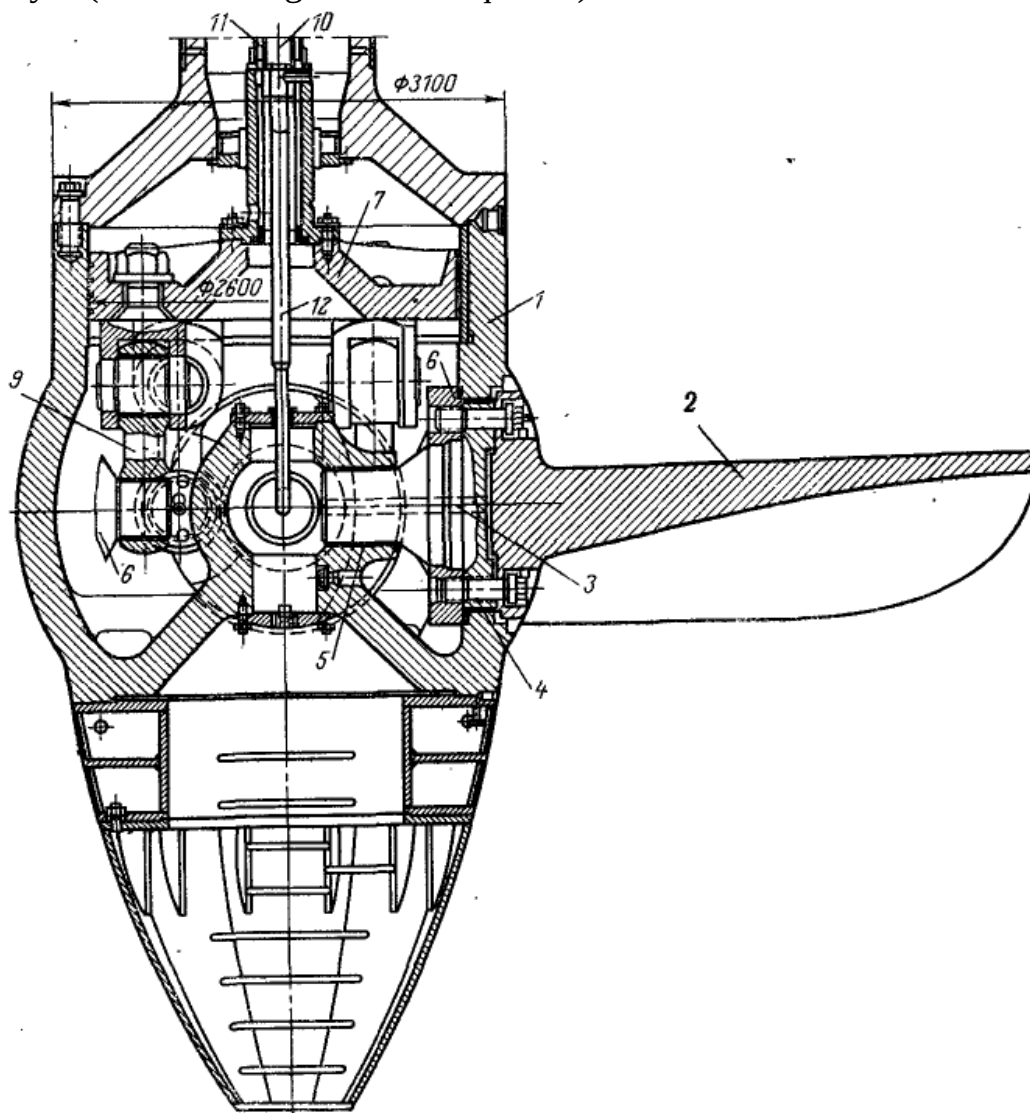
8.23-rasm. Silindrik servomotorlar bilan harakatga keltirish



8.24-rasm. Torovli (s torovymi) servomotorlar bilan harakatga keltirish

Servomotorlar quyidagicha ishlaydi. Silindrning A bo'shlig'iga A quvur (u tarmoqlanib ketadi), B bo'shlig'iga B quvur ulangan. Agar A quvurga bosim ostida yog' olib kelinsa, B quvur esa to'kish bilan ulansa, unda servomotorning porsheni va shtoki harakatga kelib boshqaruv gardishini soat strelkasi bo'yicha buralishiga majbur qiladi va turbina yopiladi. Teskarisi, agar B quvurga bosim ostida yog' uzatilsa, A quvur to'kish bilan ulansa, unda boshqaruv gardishi teskari yo'nalishda burilib turbinani yopadi. Ba'zan har xil turdagi torovli servomotorlarni qo'llaydilar. Ularning prinsipal sxemasi 8.25 rasmda ko'rsatilgan, u shu bilan farq qiladiki, markazdan burilish o'qi bilan mos keladigan katta radius ostida chizilgan

boshqaruv gardishining siljuvchi element *PL*tor shaklida yasalgan. Bu esa, boshqaruv gardishi bilan tutashganda oraliq zvenoni o'rnatishga zaruriyat qoldirmaydi (sharnirli tortgich va boshqalarni).



8.25-rasm. Saratov GESi turbinasi ish g'ildiragining kesimi.

Ish g'ildiragi parraklarini burish mexanizmi, burchaklarni o'zgartirishni va parraklarni talab qilingan diapazonda – odatda $30-40^{\circ}$ burchakda aniq o'rnatishni amalga oshirishi lozim (masalan, $\varphi = -15^{\circ}$ dan $\varphi = +20^{\circ}$ gacha). U sapfaning tayanchlari va mexanizm zvenolarida suv bosimi, markazdan qochma va ishqalanish kuchlari tomonidan vujudga keladigan juda katta zo'riqishlarni engib o'tadigan imkoniyatga qodir bo'lishi hamda ish g'ildiragi vtulkasidagi cheklangan joyga joylashishi va juda yuqori ishonchlilikka ega bo'lishi kerak, chunki ularni ta'mirlash uchun agregat to'liq qismlarga ajratilishi lozim. Parraklarni burish mexanizmining juda ko'p har xil sxemalari mavjud, ammo ularning hammasida, bosim ostida uzatiladigan yog' bilan siljiriladigan gidravlik servomotorlardan foydalaniladi.

8.24-rasmda Saratov GESi turbinasi ish g'ildiragi parraklarini burish mexanizmi ($D_1=10,3$ m, napor 6,5—14,7 m, $z_1=4$, $\bar{d}_{\text{ao}}=0,35$) hamda turbina ish g'ildiragining vtulkasi bo'ylab kesim ko'rsatilgan. Parraklarni-2 quyilgan vtulka-1 korpusiga mahkamlash, sirpanish podshipniklaridagi-4,5 flansli sapfa-3 yordamida

amalga oshiriladi. Sergali-9 parraklar dastagi-6, sharnirlar yordamida diametri 2,6 m bo'lgan porshen-7 bilan ulangan. Bu porshen siljiganda hamma parraklarni bir xil burilishini ta'milaydi. YOg' quvur-10 orqali porshen ostidagi va quvur-11 orqali porshen ustidagi bo'shliqqa olib kelinadi. Porshenni aylanib ketishdan saqlash, silindr devoridagi silindrsimon shponka yordamida amalga oshiriladi. Ish g'ildiragi servomotorlari juda katta zo'riqishlarni oshirishga qodir. Saratov GESi turbinalarida 4 MPa (40 kgs/sm²) bosimli yog'dan foydalaniladi va servomotor porsheni diametri 2,6 m bo'lganda (2.25-rasm) maksimal zo'riqish 21,5 MN (2150 tkuch) ga teng. Biroq ish g'ildiragi servomotorining yurish tezligi uncha katta emas va u 0,3 m ni tashkil qiladi.

Turbina qopqog'i ish g'ildiragi ustidagi bo'shliqni bekitib turadi, yo'naltiruvchi moslama parraklaritsapfasiningyuqori tayanchlarini joylashishiga xizmat qiladi va boshqaruv gardishining-14 tayanchi hisoblanadi hamda qopqoqda turbinaning yo'naltiruvchi podshipnigi-16 joylashadi. Ko'p hollarda turbina qopqog'iga podpyatnikning konstruksiyasi ham tayanib turadi. Shunday qilib turbina qopqog'i, juda katta yuklamalarni qabul qiluvchi muhim mas'uliyatli elementlardan hisoblanadi. Turbinarni ishonchli ishlashini ta'minlash uchun qopqoq faqatgina etarli mustahkamlikka ega bo'lmasdan balki, qattqlikka ham ega bo'lishi lozim.

8.2.2. Diagonal turbinalar

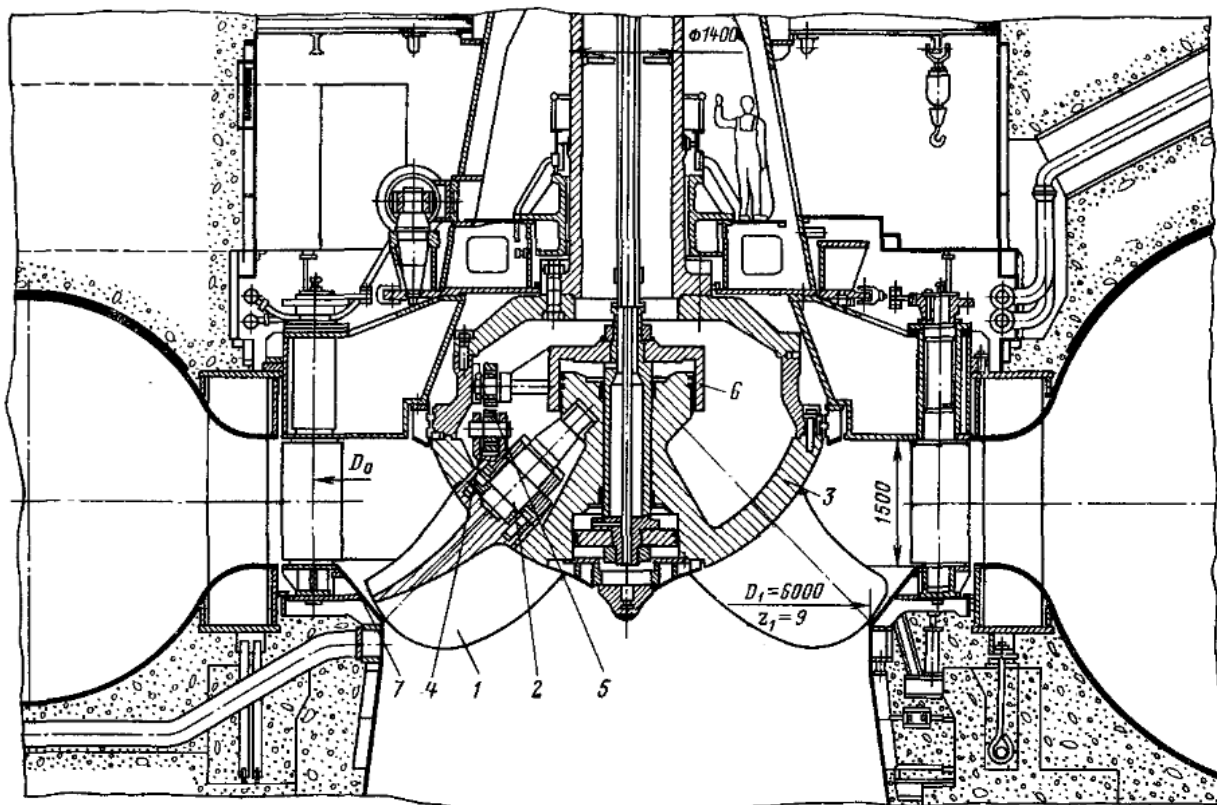
Diagonal turbina, parraklari turbinaning aylanish o'qi nisbatan o'tkir (45-60°) burchak ostida joylashgan, parraklari buraladigan turbinadan iboratdir. Parraklarni bunday joylashishi, ularning sonini (10-12 donagacha) ko'paytirishga hamda turbinani yuqoriroq bosimlarda qo'llashga imkonini beradi.

1932 yili amerikalik injener D. A. Bigs tomonidan diagonal turbinaga patent olingan. Bu turdagi turbinani ishlab chiqish va tatbiq qilishga angliya-lik injener T. Derias va sovet olimi V.S. Kvyatkovskiylar katta hissa qo'shganlar [<https://ru.wikipedia.org>].

Diagonal turbinalar 30 m dan 200 m gacha bo'lgan bosimda qo'llaniladi. Ular past bosimda parraklari buraladigan klassik turbinalar bilan, yuqori bosimlarda esa, radial o'qiy turbinalar bilan raqobatlashadi. Radial o'qiy turbinalarga nisbatan diagonal turbinalar, birqancha yuqori FIKga ega, ammo konstruksiyasiga nisbatan murakkabroq va emirilishga moyilroqdir. Ish rejimi, bosimning va quvvatning katta tebranishi bilan xarakterlanuvchi GESlarda diagonal turbinalardan foydalanish samaraliroqdir. Xuddi shuningdek, belgilangan parrakli diagonal turbinalardan (propellerli turbinalarning varianti hisoblangan), kichik GESlarni qurishda ham foydalaniladi.

Diagonal turbinalar O'zbekistondagi Andijon GESiga, Qozog'istondagi Buxtamir GESiga va Rossiyadagi Zey hamda Kolima GESlariga o'rnatilgan.

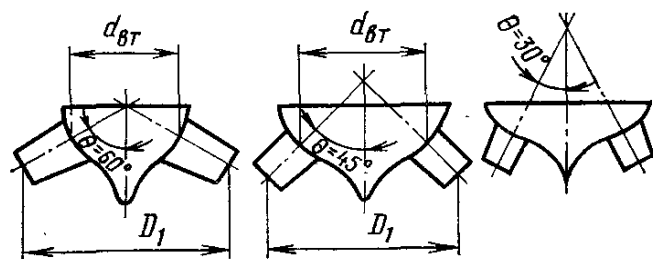
Diagonal turbinalarning statori, yo'naltiruvchi moslamasi va yo'naltiruvchi moslama parraklarini harakatga keltiruvchi mexanizmlari, xuddi o'qiy turbinalarga o'xshash. O'qiy turbinalardan asosiy farqi, ish g'ildiragi hamda ish g'ildiragi kamerasining shakli va konstruksiyasining har xilligidan iboratdir. Ish g'ildiragi parraklari-1 sapfa-2 bilan birga konus shaklidagi vtulkaga-3, ish g'ildiragining aylanish o'qiga nisbatan 45° burchak ostida mahkamlangan. Har bir sapfada sharli sharnir yordamida tortqichga-5 ulangan dastak-4 mavjud.



8.26-rasm. Diagonal turbina ish g'ildiragining kesimi.

Dastak porshen servomotori-6 bilan siljiriladi va bir vaqtning o'zida barcha parraklar bir xil burchak ostida buriladi. Vtulkaning diametri anchagina katta, va $\bar{d}_{BT}$ parraklar soni 9-10 dona bo'lganda 0,50—0,65 ish g'ildiragi diametriga- D_1 teng, biroq bunday turbinalarning vtulkasi oqimni mahalliy siqilishiga yo'l qo'ymaydi. Ish g'ildiragi kamerasi-7 sferik shaklga ega, bu esa kamera bilan parraklarni oxiri orasidagi tirqishni kichik ushlab turish imkonini beradi. Tirqish miqdori, diagonal turbinalarning energetik ko'rsatgichlariga sezilarli ta'sir qiladi. Uning miqdori, ish g'ildiragi diametrining- $D_1/1000$ nisbatidan katta bo'lmasligi, imkon bo'lsa undan ham kichikroq bo'lgani ma'qulroqdir.

Diagonal turbinaning xarakterli diametri- D_1 , parraklarni burilish burchagini kamera o'qi bilan kesishishi bo'yicha aniqlanadi (8.26-rasm). Kamera bug'uzining nisbiy diametri $\bar{D}_{K6}$, 0,95—0,98 D_1 ni tashkil qiladi. Shuni qayd qilish lozimki, agar o'qiy turbinalarda D_1 ish g'ildiragining eng katta diametrini aniqlasa, diagonal turbinalarda diametr, parraklarni kirishdagi chetlari D_1 dan kattaroq.



8.27-rasm. Diagonal turbinalar ish g'ildiraklarining shakllari.

Diagonal turbinalar nisbatan yangi tizim hisoblangani uchun, hozircha ulardan maqsadli foydalanish chegarasi bo'yicha umumiy tushuncha yo'q [...]. Bu turbinalar faqatgina har xil parraklar soniga ega bo'lmasdan, har xil o'rnatish burchagiga- θ (8.27-rasm) ham ega. Bosim ko'tarilishi bilan burchak- θ kamayadi. Nisbatlar

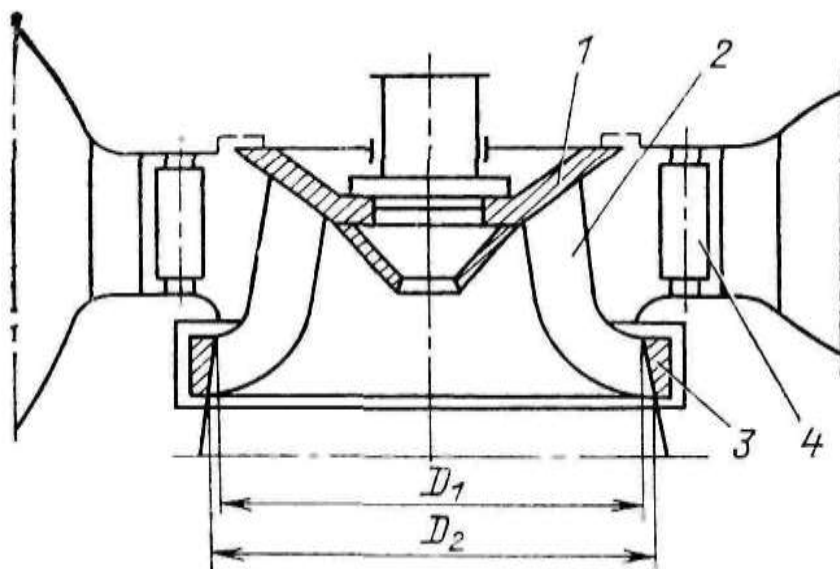
taxminan shunday: bosim - $40 \div 80$ m bo'lganda $\theta = 60^\circ$; bosim $60 \div 130$ m bo'lganda $\theta = 45^\circ$; bosim $120 \div 200$ m bo'lganda $\theta = 30^\circ$.

8.2.3 Radial-o'qiy turbinalar

Radial-o'qiy turbinalar (chet ellarda ularni Frensis turbinasi deb atashadi) eng eski turbinalardan, ammo eng ko'p tarqalgan turbinalardan hisoblanadi. Texnik jihatdan oddiyligi (mos holda arzonligi), bosim va suv sarfining juda katta diapazonida ishlashi, ularni jahonda tan olingan turbinalardan biriga aylantirdi. Jahondagi eng yirik GESlarga ushbu turbinalar o'rnatilgan, ularga, turbinaning birlik quvvati bo'yicha rekord taaluqlidir. Radial-o'qiy turbina (Frensis turbinasi) – reaktiv turbinadir. Bu turbinalarning xarakterli tomoni shundaki, suv ish g'ildiragiga kirishda avvalo radial tekislik bo'ylab harakatlanadi, ish g'ildiragidan chiqqandan sung esa o'q bo'ylab harakatlanadi. Ulardan bosimning keng diapazonida: $30 \div 40$ metrdan $600 \div 700$ metrgacha foydalaniladi. Bunday katta diapazon, ish g'ildiragi va butun turbinaning konstruktiv xususiyati tufayli ta'minlanadi.

Radial-o'qiy turbinaning ish g'ildiragi, gupchak va gardish bo'ylab bir tekis taqsimlangan bir qancha fazoviy shakllarga ega bo'lgan murakkab parraklardan tashkil topgan (8.28 a va 8.29-rasmlar). Bu uch element bir-biri bilan juda mustahkam birlashtirilgan va bir butun konstruksiyani tashkil qiladi. Parraklar soni past bosimli turbinalarda 9 donadan, yuqori bosimli turbinalarda esa 21 donagacha bo'lishi mumkin. Ish g'ildiragi diametri qilib, parraklarni kirish chetlari maksimal diametri - D_1 qabul qilingan.

Gidroturbinaning ish g'ildiragi oldiga, undan o'tayotgan suv sarfini kerakli miqdorda o'zgartirishni hamda uning parraklaridan oqimni eng yaxshi oqib o'tishini ta'minlovchi va turbinaning FIK ko'taruvchi, aylanib turuvchi parraklar-yo'naltiruvchi moslama o'rnatiladi.



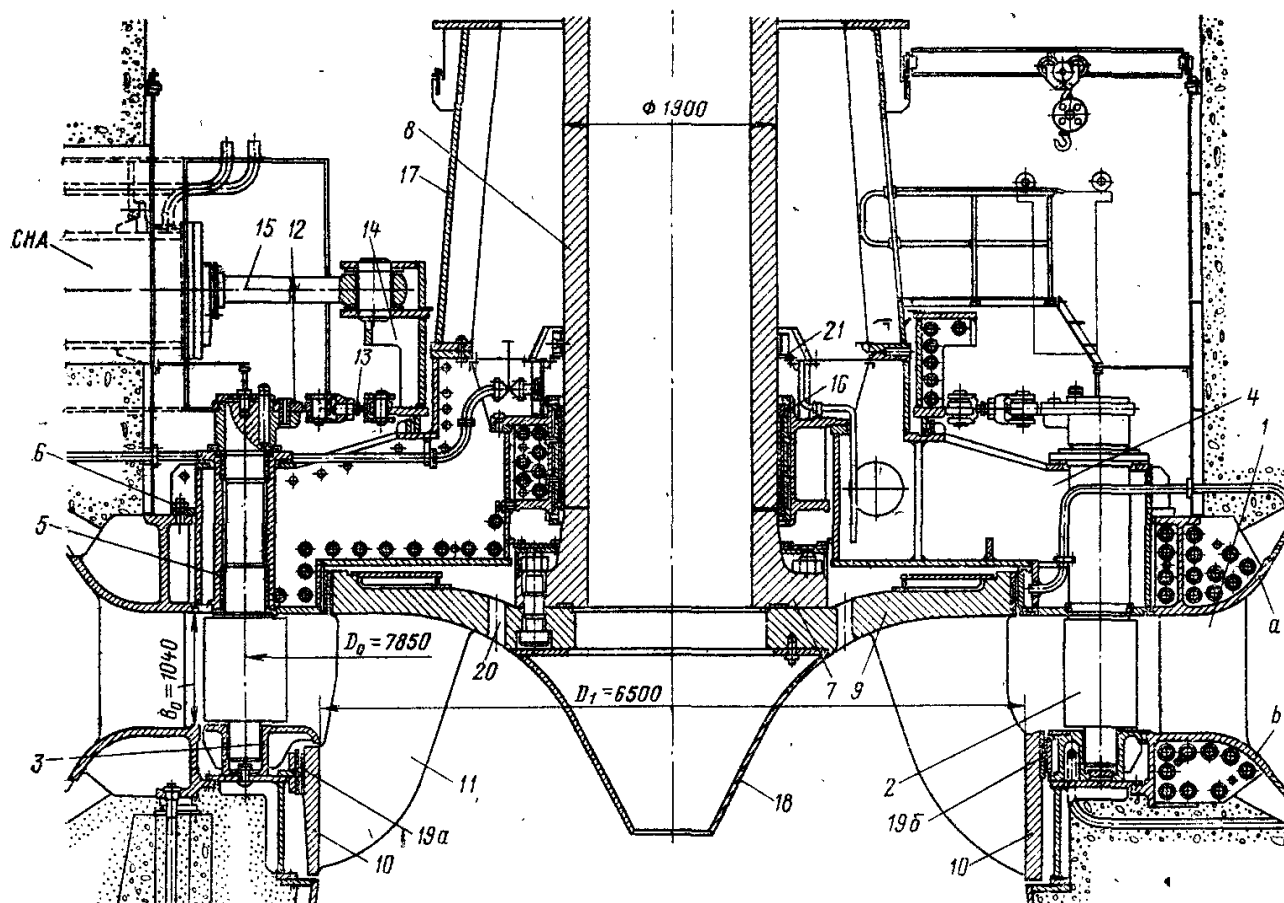
8.28-rasm. Radial-o'qiy turbinaning ish g'ildiragi

Yirik gidroturbinalarining ish g'ildiragi parraklari, oqim chizig'ining kesimi bo'ylab oqib o'tishga qulay shaklda bo'ladi, bu esa ularni zarur mustahkamlikka ega bo'lishi uchun qalinroq qilib tayyorlash imkonini beradi.

Foydalanilayotgan bosimni o'zgarishi bilan radial-o'qiy turbinalar ish g'ildiragining shakli o'zgaradi: chiqish diametrini kirish diametriga nisbati- D_2/D_1 kichik bo'ladi. Masalan, Krasnoyarsk GESi uchun ($N \approx 100$ m) $D_2/D_1=1,13$, Ingura GESi uchun esa ($N = 270$ m) $D_2/D_1=0,68$.

Hozirgi vaqtda, birlik quvvati bo'yicha ham (600—700 MVt) , xuddi shuningdek o'lchamlari bo'yicha ham (ish g'ildiragi diametri 9,5 m) radial-o'qiy turdagi noyob turbinalar (Rossiya Federatsiyasidagi Krasnoyarsk, Sayano-Shushensk, AQSHdagi Grend Kul) yaratilgan.

Radial-o'qiy turbinalarning qurilmasi va konstruksiyasini, LMZ ("Rossiyaning kuch mashinalari") tomonidan Sayano-Shushensk GESi uchun tayyorlangan va quyidagi ko'rsatgichlarga ega bo'lgan variantlardan birining misolida batafsil ko'rib chiqamiz (8.28-rasm) : bosimlari 175—220 m, hisob quvvati - 650 MVt, bosim 206 m va balandroq bo'lganda - 710 MVt, ish g'ildiragi diametri - $D_1=6,5$ m, aylanish chastotasi - $p = 136,4$ ayl./min.



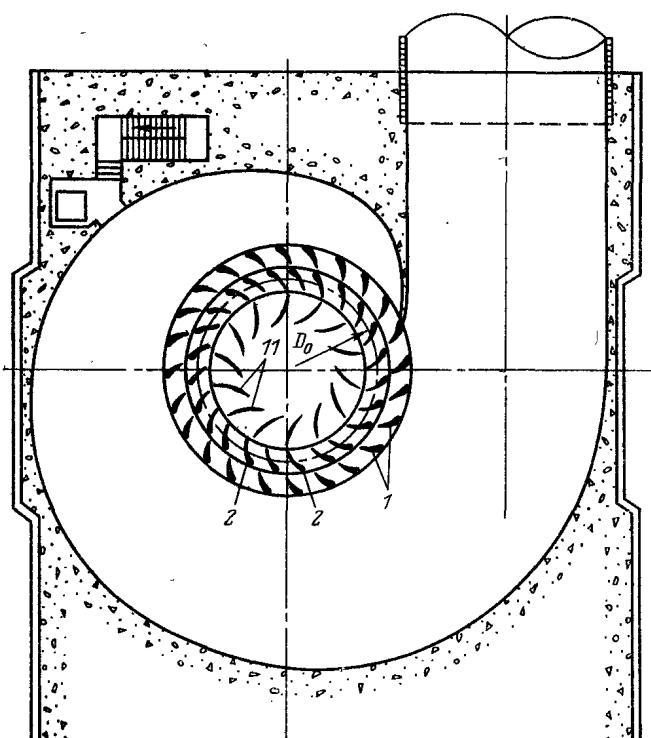
8.29-rasm. Sayano-Shushensk GESining radial-o'qiy turbinasi:

1-stator kolonnasi; a va v – statorning yuqori va pastgi belbog'lari; 2 – yo'naltiruvchi parraklar; 3-yo'naltiruvchi moslamani pastgi gardishi; 4- turbina qopqog'i; 5-yo'naltiruvchi parraklar yuqori sapfasining tayanch stakanlari; 6 – statorning yuqori belbog'iga mahkamlangan qopqoqlar; 7 – valaning flanetsi; 8-val; 9 va 10 –ish g'ildiragining yuqori va pastgi gardishlari; 11-ish g'ildiragi parraklari; 12-dastaklar; 13-sergi-sirg'alar; 14-boshqaruv halqasi; 15–servomotorning tortqichi; 16 – podshipnik; 17 – podpyatnik tayanchi; 18-oqib o'tuvchi; 19a i 19b – ish g'ildiragi gardishining zichlagichlari; 20 – engillashtirish tirqishlari; 21 – podshipnik kameralarini zichlash.

Radial-o'qiy turbinaning kirish qismi, xuddi boshqa reaktiv turbina turlarinikidek, po'lat qoplamali turbina spiral kamerasi, turbina spiral kamerasining qoplamasi payvandlangan baquvvat yuqori va pastgi **a** va **b** belbog'li stator kolonnalari-1 hamda turbinaning yo'naltiruvchi moslamasini tashkil qiluvchi yo'naltiruvchi parraklardan-2 iboratdir. Yo'naltiruvchi moslamada parraklar soni 24 donadan (20 dona ham bo'ladi) iboratdir. Yo'naltiruvchi parraklarning sapfalari, turbina qopqog'iga-4 mahkamlangan statorning pastgi **b** belbog'iga va stakanlarga-5 mahkamlangan halqa-3 ichidagi, vtulkali tayanchlarga egadir. Qopqoq, statorning yuqori belbog'iga boltlar-6 yordamida mahkamlanadi.

Spiral kameraning tishi bilan birgalikda, stator kolonnalarining soni, ushbu holat uchun, yo'naltiruvchi parraklar soniga teng bo'lib 24 donani tashkil qiladi, ammo ko'proq holatlarda stator kolonnalarining soni 2 marta kam bo'lishi mumkin.

Yo'naltiruvchi moslamani harakatga keltirish va parraklarni burish mexanizmi, o'qiy va diagonal turbinalarda qo'llaniladigan mexanizmga o'xshash bo'lib, yo'naltiruvchi parraklar sapfalarining yuqoridagi oxiriga mindirilgan dastaklar-12, sirg'alar-13 va boshqaruv gardishidan-14 iboratdir. Yo'naltiruvchi moslamaning ochilganligini- α_0 o'zgartirish, boshqaruv gardishini burish orqali amalga oshiriladi. Boshqaruv gardishini burish, shtoklari-15 boshqaruv gardishi bilan ulangan ikki dona servomotorlar yordamida harakatga keltiriladi (8.23-rasmdagi sxemaga qarang) .



8.30-rasm. Radial-o'qiy turbina. Yo'naltiruvchi moslamaning o'rta chizig'i bo'ylab kesimi

Yo'naltiruvchi moslamaning nisbiy balandligini o'qiy turbinalarga nisbatan birmuncha kichraytirilishini, radial-o'qiy turbinalarda bosim birqancha kattaligi va egilishga ishlayotgan yo'naltiruvchi parraklarni, eguvchi momentini kamaytirish uchun ularni kichik oraliqlar bilan kaltaroq qilishga to'g'ri keladi deb tushuntirish mumkin. Bundan tashqari, bosim ko'payishi bilan xuddi shu quvvatda suv sarfi kamayadi, bu esa o'tish oraliqlarini kichraytirish imkonini beradi. Umuman $\bar{b}_0$

Oxirgi yillarda, ba'zan, har bir yo'naltiruvchi parrak uchun individual servomotorlar qo'llanmoqda. Bu usulda, boshqaruv nuqtalari sonini oshishi bilan bir qatorda, yirik turbinalardagi juda og'ir va qattiq qism hisoblangan boshqaruv gardishi olib tashlanadi hamda turbinaga qo'shimcha ekspluatatsion afzal-liklar beriladi. Ushbu holatda yo'naltiruvchi moslamaning xarakterli o'lchamlari quyidagi-larga teng: balandlik- $b_0 = 1,04$ m yoki $\bar{b}_0 = 0,16$, burilish o'qlari bo'yicha diametri- $D_0 = 7,85$ m yoki $\bar{D}_0 = 1,21$.

bosim oshishi bilan kamayadi. To'liq yopilganda siriqib oqayotgan suvni kamaytirish uchun yo'naltiruvchi moslamaning zichlash, chetgi oraliqlarni qisqartirish, parraklarni zich o'rnatish, rezinali yoki ishlov berilgan metall qistirmalarni (zanglamaydigan metallardan tayyorlangan) qo'llash, juda baland bosimlarda esa, chetgi orasiga siqilgan havo haydash orqali oraliqlarni to'liq yopadigan trubkasimon rezinali zichlagichlarni qo'llash orqali amalga oshiriladi.



8.31-rasm. Radial-o'qiy turbina ish g'ildiragi

Ish g'ildiragining rasmi, 8.31-rasmda keltirilgan. Ish g'ildiragining kesimi va konstruksiyasi 8.31-rasmda ko'rsatilgan. Yo'naltiruvchi moslamadan o'tgan suv, yuqori-9 va pastgi-10 gardishlar hamda parraklardan-11 iborat ish g'ildiragiga kelib uriladi. Parraklar soni 16 donaga teng. Xuddi shu turdagi boshqa turbinalarda parraklar soni 14-19 donani tashkil qiladi. Parraklar va gardishlar bir butun mustahkam konstruksiyani tashkil qiladi. Ish g'ildiragi yuqori gardishi bilan birgalikda, ushbu holatda, tashqi diametri

1,9 m ga teng bo'lgan qalin devorli quvur-valning-8 pastgi flansiga-7 mahkamlanadi.

Oqim uyurmalarini bartaraf qilish uchun yuqori gardishga oqib o'tuvchi konstruksiya mahkamlangan. Radial-o'qiy turbina shakli va ish g'ildiragi konstruksiyasi bilan, diagonal va parraklari buraladigan turbinalardan birmuncha farq qiladi: xususan, radial-o'qiy turbinalarning parraklari qo'zg'olmas qilib o'rnatilgan, ularni o'rnatilish burchagini o'zgartirib bo'lmaydi (8.31rasm). Radial-o'qiy turbinaning o'zida ham yuqorida qayd qilinganidek, ish g'ildiragining xarakterli diametri- D_1 qilib, parraklarni kirish chetlari maksimal diametri qabul qilingan. Ushbu holatda (8.29-rasm) $D_1 = 6,5$ m.ga teng.

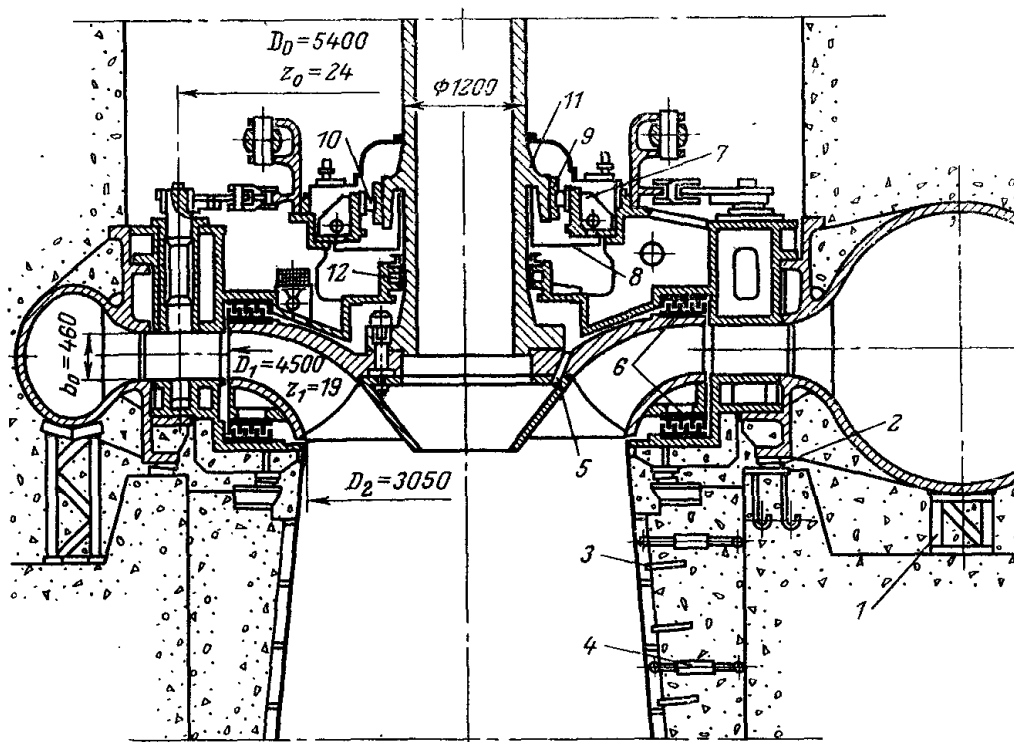
Ish g'ildiragini zichlagichi. Turbina oqimda ishlab turganida ish g'ildiragi oldida bosim yuqori bo'ladi, g'ildirakdan keyin esa past bo'ladi, ba'zi holatlarda hattoki vakuum hosil bo'ladi. Bunga asosan, turbina ishlab turganida suvning bir qismi, aylanadigan va qimirlamaydiganelementlari orasidagi tirqishlardan foydasiz oqib o'tadi, natijada uning FIK pasayib ketadi. Foydasiz oqib o'tadigan suv miqdorini kamaytirish uchun maxsus zichlagichlar qo'llaniladi. 8.29-rasmda, pastgi gardishga o'rnatilgan tirqishli zichlagichlar 19a va 19 b ko'rinib turibdi (bu rasmda ish g'ildiragi pastgi gardishi va uning zichlagichlarining ikki xil variantdagi konstruksiyalarini chap va o'ng tomondan ko'rinishlari ko'rsatilgan). Ularning asosiy vazifasi, aylanuvchi va qo'zg'olmas qismlar orasida kichik tirqish ($1,5 \div 2,5$ mm) hosil qilishdan iboratdir. Ba'zan qarshilik koeffitsientini oshirish uchun kengaytirilgan chuqurchalar (kanavki) -19a qilinadi. Juda katta bosimlarda labirintli zichlagichlarni qo'llashadi. Ish g'ildiragining yuqori gardishidagi zichlagichlar, yukni kamaytirish teshiklari bo'lganda kerak bo'ladi. Ushbu tirqishlar, Ish g'ildiragining yuqori gardishi

orasidagi bo'shliqni, g'ildirak ostidagi kamaygan bosim sohasi bilan birlash-tirib, podpyatnik qabul qiladigan, o'qiy zo'riqishlar natijasida hosilbo'ladi-gan gidrodinamik yuklamalarni kamaytiradi.

Radial-o'qiy turbinalarning ish g'ildiragi, bir butun yaxlit hisoblanadi. Bunday yaxlit ish g'ildiragini, uning eng katta diametri 4,75 m oshmagan holatda temir yo'llar bilan, undan katta bo'lsa suv yo'llari bilan olib kelinadi. Agar temir yo'llar bilan olib kelinish shart bo'lsa, unda ish g'ildiragi bo'laklarga bo'linadigan qilib tayyorlanadi va ular olib kelingandan sung joyida teriladi. Xuddi shuningdek, Bratsk GESining diametri - $D_1 = 5,5$ m bo'lgan ish g'ildiragi ikki qismdan iborat qilib zavodda tayyorlanib joyida ikki qism bir butun qilib payvandlandi, bu esa vaqt va qo'shimcha ishlov berishni talab qildi.

Turbina qopqog'i-4 mustahkam payvandlangan konstruksiya bo'lib, yo'naltiruvchi moslama va boshqaruv gardishi, suvning bosimi hamda podpyatnik tayanchlaridan-17 kelayotgan katta yuklamalarni qabul qiladi. Qopqoqqa turbinaning yo'naltiruvchi podshipnigi-16 hamda zichlash qurilmasi-21 mahkamlangan.

Ingura GESsi turbinalari (8.32-rasm) yuqori bosimli radial-o'qiy turbinalarning tipik misolidir. Ular XTGZ («Turboatom») da ishlab chiqilgan va yaratilgan bo'lib, 325 m hisob bosimida 250 MVt atrofida quvvatga erishadi. Maksimal bosimi 404 m, aylanish chastotasi 250 ayl/min. Bu konstruksiya yo'naltiruvchi moslamasining nisbiy balandligi ancha kichik ($b_0 = 0,46/4,5 = 0,1$). Ish g'ildiragi shakli ham bunda o'zgargan.



8.32-rasm. Ingura GESining (Gruziya) radial-o'qiy turbinalari

Turbina chiqish diametri- D_2 kirish diametridan- D_1 kichikroq. Ingura GESsi turbinalarining yana bir muhim farqi-ish g'ildiragining yuqori va pastgi gardishlarida, kuchaytirilgan to'rt qirrali labirintli zichlagichlarni-6 qo'llanishidir.

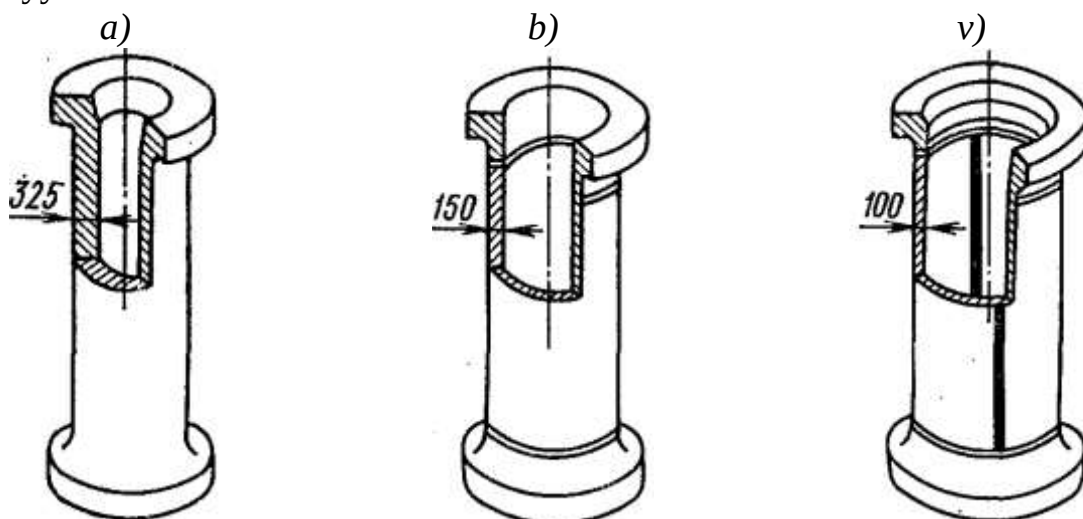
2.32-rasmda asosiy elementlaridan tashqari, beton ichida qoladigan quyidagi ba'zibir montajlovchi detallar ham ko'rsatilgan: ustunchalar-1; ponalar-2; ankerlar-8. Turbinaning ba'zibir montajlovchi detallari boshqa rasmlarda ko'rsatilgan.

8.2.4. Vertikal gidroturbinalarning vali va yo'naltiruvchi podshipniklari

Vertikal turbinaning vali, ish g'ildirigidan generator rotoriga aylantiruvchi moment shaklida berilayotgan, aylanuvchi qismlarning (ish g'ildiragi, valning o'zi) og'irligi bilan aniqlanadigan o'qiy kuch shaklida berilayotgan hamda ish g'ildiragiga suv oqimidan gidrodinamik o'qiy zo'riqishlar shaklida berilayotgan yuklamalarni qabul qiladi. Shunday qilib, val asosan tortilishga va aylanib eshilishga ishlaydi. Gorizontaal agrgegatlarda val yana qo'shimcha egilish momenti yuklamasini ham qabul qiladi.

Vallar ulama ham bo'lishi mumkin: unda turbina vali va generator vali flanetslar bilan qattiq mahkamlanadi, katta uzunlikda esa, qo'shimcha oraliq ulamalar bilan mahkamlanadi.

Ba'zibir holatlarda agrgegat yagona valga ega bo'ladi, bu esa agregatning umumiy balandligini kamayishiga olib keladi. Turbina vallari har doim ichi kavak qilib tayyorlanadi.



8.33-rasm. Vallarning konstruksiyalari

Vallar flaneslar bilan birga yaxlit qilib (8.33, a-rasm) yoki yaxlit payvandlanib (8.33, b-rasm) tayyorlanadi.

Birinchi keltirilgan ikki usul ko'proq tarqalgan, ammo yaxlit qilib tayyorlangan vallar nisbatan uncha katta bo'lmagan (1400 mm dan kichik) diametrlarda qo'llaniladi

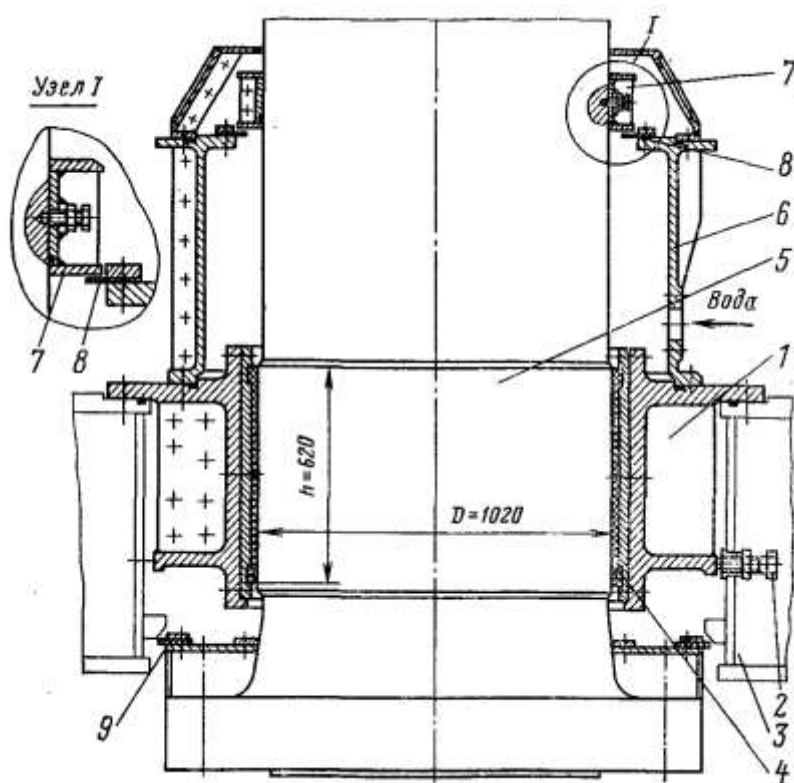
Vertikal agregatlar valning taxminiy tashqi diametri- D_v quyidagi formula bilan aniqlanadi –

$$D_B = (105 \div 115) \left(\frac{N}{n} \right)^{0.35} \quad (8.16)$$

bunda: N-turbinaning maksimal quvvati, kVt; t-aylanish chastotasi, ayl/min.

Vallarning ma'lum qoidaga keltirilgan diametrlari mavjud bo'lib, 600 mm dan 1000 mm bo'lgan vallar 50 mm oraliqda, katta miqdorlar uchun esa 100 mm oraliqda keltirilgan.

Turbina podshipniklari, agregatning aylanadigan qismlari tayanchlarning umumiy tizimi tarkibiga kiradi. Vertikal agregatlarda, turbina podshipniklari tomonidan yoʻnaltiriluvchi va qabul qilinuvchi radial yuklamalar, ish gʻildiragi oraligʻida oqimning nosimmetrik oqishi, xuddi shuningdek aylanuvchi qismlarning yaxshi balansirovka qilinmaganligi tufayli hosil boʻlishi mumkin. Valning konsol qismini kamaytirish maqsadida, turbina podshipnigini ish gʻildiragiga yaqinlashtirishga harakat qilishadi. Yoʻnaltiruvchi podshipnik turbinaning eng masʼul qismi hisoblanadi va uni ishonchli ishlashini taʼminlash, agregatni toʻxtovsiz ishlashining muhim omillardan hisoblanadi. Turbinalarda ikki xil podshipniklar qoʻllaniladi: moy bilan yogʻlanadigan va suv bilan hoʻllanadigan. Suv bilan hoʻllanadigan podshipniklar eng koʻp tarqalgan, ularda ishchi ikqilik, poʻlat va rezinadan iboratdir.



8.34-rasm. Suv bilan hoʻllanib turadigan rezina vkladishli podshipnik.

Suv bilan hoʻllanadigan podshipnikning asosiy qismlari (8.34-rasm) : tirgak boltlari-2 bilan markazlashtiriladigan va turbina qopqogʻiga-3 mahkamlanadigan podshipnik korpusi-1; vulkanizatsiya yordamida kesilgan va aylana boʻylab egilgan poʻlat plastinalar (segmentlar) - vkladishlardan-4 iboratdir. Rezinaning qalinligi 20 mm atrofida boʻlib, uning ishqalanadigan qismlari orasidagi tirqishlarga yaxshiroq suv kelishi uchun valga yopishib turgan yuzasida boʻylama chuqurchalar qilinadi. Podshipnik joylashgan joydagi val, zanglamaydigan poʻlatdan tayyorlangan yopqich-5 bilan zanglashdan himoya qilinadi. Podshipnikka suv uzatish, podshipnik korpusiga mahkamlangan quvur yordamida yuqoridagi vanna-6 orqali amalga oshiriladi.

Eng masʼul qismlaridan biri, vannani tigʻizlash qurilmasi hisoblanadi. bunda XTGZ («Turboatom») tomonidan ishlab chiqilgan, pastgi qismi zanglamaydigan poʻlatdan tayyorlangan valga kiydirilgan rezina gardish-7 va vannaning qopqogʻiga

mahkamlangan egiluvchan rezinali gardishdan-8 tashkil topgan chetgi rezinali zichlagich (I-uzel) ko'rsatilgan. Suvning bosimi hisobiga rezinali gardish po'lat gardishga siqiladi va tirqishni zichlaydi. Bundan tashqari pastgi qismida, podshipnikni ta'mirlash vaqtida beqiladigan yana ta'mirlash zichlagichlari-9 ham hisobga olingan.

Turbina pastgi bef sathiga nisbatan katta chuqurlikda o'rnatilgan bo'lsa, bu zichlagichlar juda muhim hisoblanadi. Suv bilan ho'llanadigan podshipniklarning asosiy afzalligi, ularning soddaligi, turbina ishlab turgan vaqtida ish g'ildiragi tomonidan tushayotgan suvdan himoya qilishni zarur emasligi, ishonchliligi va uzoq ishlashidir. Biroq ularning uzoq ishlashi, ho'llab turadigan suvni $0,15 \div 0,20$ MPa ($1,5 \div 2$ kgs/sm²) dan kam bo'lmagan bosim ostida to'xtovsiz uzatish hamda suvda abraziv loyqalarning bo'lmasligi (podshipnikka uzatilayotgan suvdagi qattiq loyqalarning miqdori 0,1 g/l dan oshmasligi) bilan ta'minlanadi. Shuni hisobga olish zarurki, podshipnikni ho'llab turish uchun uzatilayotgan suv, faqatgina val va vkladishlar orasida juda kichik ishqalanish koeffitsientini hosil qilmasdan (solishtirma bosim va aylanma tezlikka nisbatan $0,05 \div 0,005$), balki sovutish uchun ham xizmat qiladi, chunki rezina kam issiqlik o'tkazuvchi material bo'lganligi uchun bu juda muhimdir. Shuning uchun suv uzatish to'xtatilganda, vkladishlarning temperaturasi juda tez ko'tariladi, natijada ular tez ishdan chiqishi mumkin. Suv bilan ho'llab turish uchun toza suv bilan ta'minlash qiyin bo'lganda yoki boshqa holatlarda, hamda ekspluatatsiya shartlari va turbinaning konstruksiyasiga nisbatan, moy bilan yog'lab turiladigan podshipniklar qo'llaniladi.

8.2.5. Reaktiv turbinalarning olib keluvchi va olib ketuvchi elementlari

Turbina kameralari.

Turbina kameralari, reaktiv turbinalarning statorga va yo'naltiruvchi moslamasiga suv uzatish uchun xizmat qiladi. Turbina kameralariga quyidagi talablar qo'yiladi:

- ular yo'naltiruvchi moslamani barcha perimetri bo'ylab bir tekis ta'minlashi kerak.

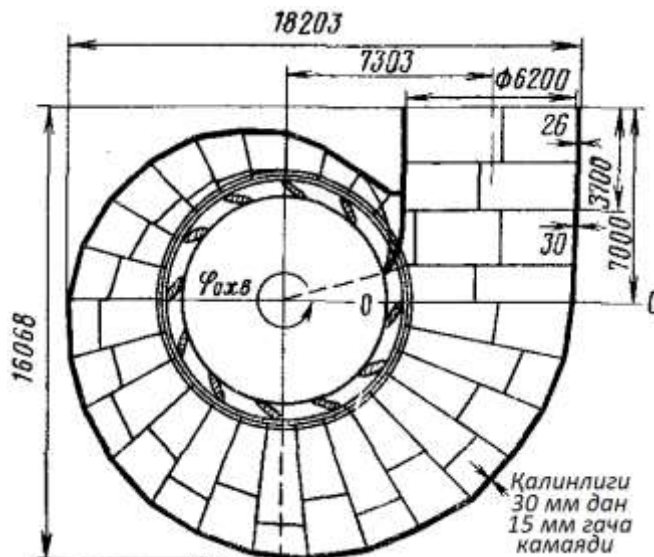
- gidravlik yo'qotishlar kameraning o'zida, statorda va yo'naltiruvchi moslamaga oqimni kirishida minimal bo'lishi shart

- turbina kamerasining shakli va o'lchamlari, bino bloki kompanovkasi shartlariga mos kelishi va GESning bosimli suv o'tkazuvchilari bilan tutashi qulay bo'lishiga imkon berishi kerak.

Turbina kameralarining turlari. Yirik turbinalarda asosan ikki turdagi turbina kameralar qo'llaniladi: **betonli (temirbetonli)**, odat bo'yicha trapetseidal shakldagi ko'ndalang kesimli va aylana shakldagi ko'ndalang kesimli **metall (po'lat)** turbina kameralari. Turbina kameralarining foydalanish sohalari har bir tur uchun asosan bosim bilan aniqlanadi. Beton kameralar 4 m dan 80 m gacha, metall kameralar 40 m dan 700 m gacha bo'lgan bosimlarda qo'llaniladi. Mayda tubinalar uchun ba'zan soddalashtirilgan turdagi turbina kameralari qo'llaniladi: **ochiq, to'g'ri burchakli va kojuxli-g'ilofli**.

Turbina kameralarining konstruksiyalari. 8.35-rasmda diametri 5,5 m va 110 m bosimli radial-o'qiy turbinaning metall spiral kamerasi ko'rsatilgan.

Kameraning kirish qirqimi, olib keluvchi suv o'tkazuvchining o'qiga perpendikulyar bo'lgan 0-0 tekislik hisoblanadi.



8.35-rasm. Materiali po'lat turbina kamerasi

Turbina kamerasining oxirgi kesimi, oxirgi stator kolonnasi-«spiral tishi»ning kirish qirrasini bo'yicha aniqlanadi. Metall turbina spiral kamerasi stator bilan birgalikda, yo'naltiruvchi moslamani deyarli to'liq qamrab oladi. Bu qamrash, spiralni qamrash burchagi- φ_{qam} orqali ta'riflanadi. Metall spiral kameralarining qamrash burchagi- $\varphi_{\text{qam}} = 340 \div 350^\circ$ ga teng. Ko'ndalang kesimi yuzasi aylana shaklida bo'lib, shu bilan birga kirishdan oxirigacha siljiganda suv sarfi kamayishi bilan kesim yuzasi va radiusi kamayib boradi.

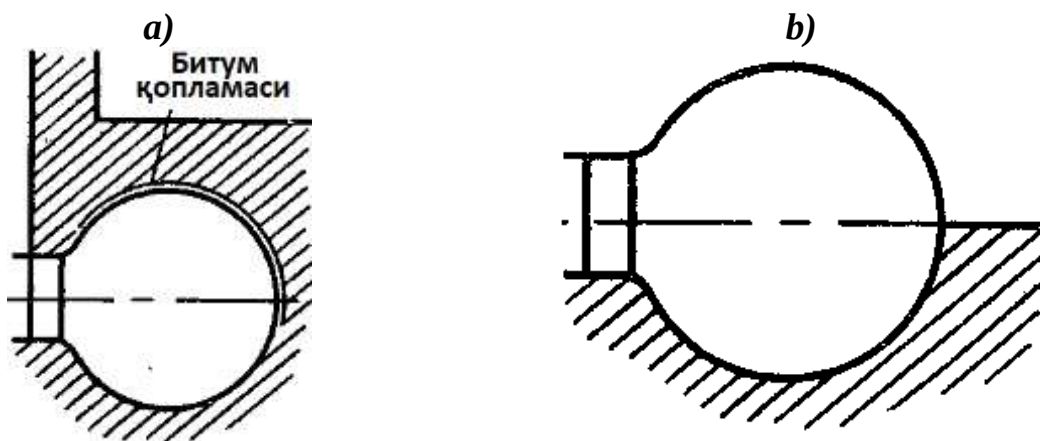
Oxirgi qismida, taxminan oxirgi 90° da, kesim yuzasi aylana shaklidan elliptik shaklga o'tadi. Bu o'tishni shunday tushuntirish mumkinki, zarur bo'lgan maydon bu oraliqda shunchalik kichikki, aylana kesimni statorning tayanch gardishlari bilan tutashtirish mumkin bo'lmaydi.

Metall spiral kameralar payvandlangan konstruksiya bo'lib valsovkalangan metall listlardan tayyorlanadi.

Listlar barcha perimetri bo'ylab statorning yuqori va pastgi tayanch gardishlariga payvandlanadi. Yig'ish va hamma spiral kamerani payvandlash joyida, yig'ish vaqtida bajariladi, zavodlarda esa alohida listlar faqatgina bichiladi va valsovkalanadi. Agar turbina spiral kamerasi juda katta o'lchamlarda bo'lmasa (tashish shartlari bo'yicha), unda spiral kamera zavodda quyiladi yoki payvandlangan konstruksiyada, ba'zi vaqtlarda stator bilan qo'shilgan holda tayyorlanadi. Bu holatlarda kamera odatda ikki yoki to'rt yig'ish bloklari shaklida tayyorlanadi va ular joyida boltlar yoki payvandlab birlashtiriladi. Bunday kameralar yig'ishga qulay, yuqori bosimlar uchun ishonchliroq, chunki zavodda tayyorlash texnologiyasi mukammalroqdir.

Quyilgan yoki yaxlit payvand qilingan spiral kameralar, diametri 2,5 m gacha bo'lgan turbinalarda qo'llaniladi. Metall spiral kameraning qobig'i, gidravlik zarbni hisobga olgan holda, yo'naltiruvchi moslamani yopish vaqtida hosil bo'ladigan suvning maksimal ichki bosimiga hisob qilinadi. Bu holatda betonga beriladigan yuklamani yo'qotish kerak, buning uchun qobiqning yuqori qismi

yumshoq qistirma bilan qoplanadi (8.36, *a*-rasm) , masalan, bitum qatlami bilan yoki ochiq qoldiriladi (8.36, *b*-rasm) .



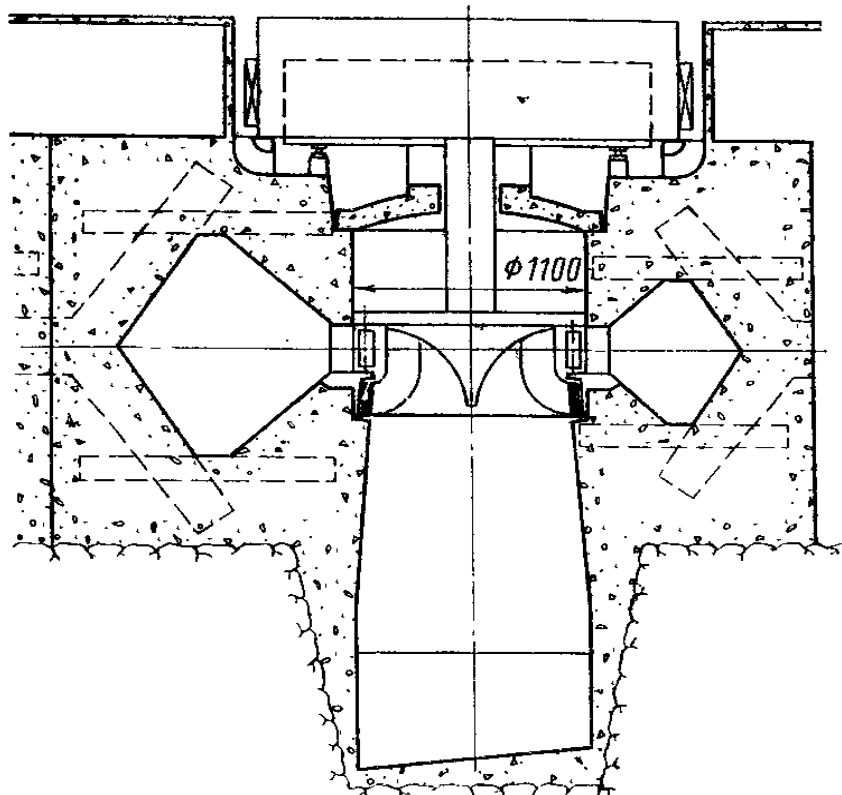
8.36-rasm. Metall turbina kameralarini o'rnatish variantlari

Qobig'i maksimal ichki bosimni- r_{max} , qabul qiluvchi po'lat spiral kameralarni qo'llash chegarasi, legirovanlangan (maxsus ravishda nikel, xrom va boshqa har xil metallar qo'shilgan) po'latni hisobga olgan holda, quyidagi shart bo'yicha qabul qilinadi-

$$p_{max} D_{cn} \leq 1100 \div 1300 ;$$

bunda: p_{max} - MPa, gidravlik zarbni hisobga olgan holda;

D_{cn} - spiralning kirish qismi kesimining diametri, sm.

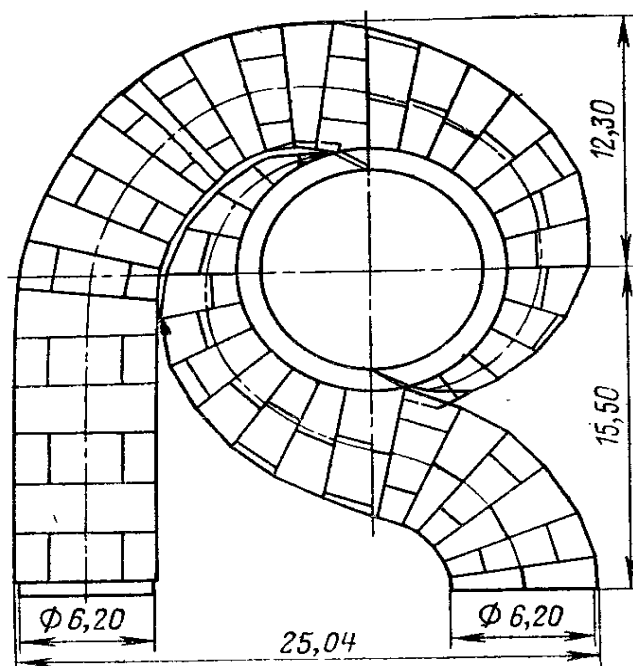


8.37-rasm. Ilgaridan taranglashtirilgan armaturali temir-beton kamera

Agar shart qondirilmasa, muhim qaror qabul qilishga to'g'ri keladi. Nurek GESi turbinasining po'lat qobig'i, bosimi 4 MPa teng bo'lgan suvning faqatgina 1/3 qism bosimiga hisob qilingan, suvning 2/3 qism bosimi yuklamasini esa

temirbeton tomonidan qabul qilinadi (baquvvat aylana armaturalar) . Takliflar bor temirbetonga suvning barcha bosimi yuklamasini berib, qobiqni yupqa qilib tayyorlab undan faqatgina filtratsiyaga qarshi himoya vositasi sifatida foydalanishni yoki ilgari taranglashtirilgan temirbeton konstruksiyadan foydalanish to'g'risida takliflar berildi (8.37-rasm) .

Shunday qabul qilingan qarorlarning variantlaridan biri 8.37-rasmda ko'rsatilgan. bunda spiral kameraning ko'ndalang kesimi aylana emas, balki poligonal kesimlidir, bu esa ularni ilgari taranglashtirilgan armaturali yig'ma temir-beton elementlardan (punktir chiziqlar bilan ko'rsatilgan) yig'ish imkonini beradi. Quvvati 500÷750 MVt va undan ko'p bo'lgan yirik turbinalar uchun, ikki tomonlama suv uzatuvchi spiral kameralar qo'llaniladi. Diametri 7,5 m bo'lgan radial-o'qiy turbina uchun ishlab chiqil-gan bunday spiral kameraning eskizi 8.38-rasmda ko'rsatilgan. Bu spiralning xususiyati shundaki, turbinaga suv ikkita quvur orqali uzatiladi va har biri tatorning yarmini o'rab oladigan yarim spiral bilan tutashadi. Har bir yarim spiralning kirish kesimi diametri, umumiy spiralga qaraganda deyarli 1,5 marta kichik bo'ladi, va mos holda po'lat listlarning zarur qalinligi kamayadi.

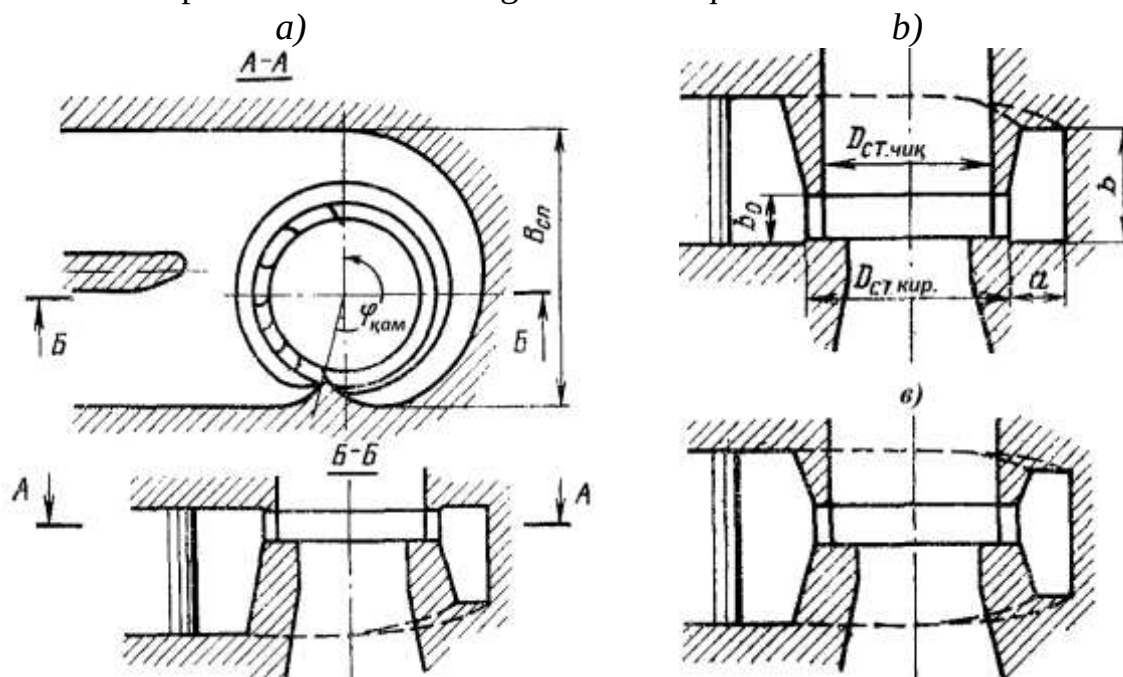


8.38-rasm. Ikki tomonlama suv uzatuvchi kamera

Beton turbina kameralari metall tubina kameralaridan faqatgina ko'ndalang kesimini shakli bilan emas, balki qamrash burchagi- φ_{qam} bilan ham farq qiladi. Beton turbina kameralari uchun qamrash burchagi- $\varphi_{qam} = 180 \div 270^\circ$ ni tashkil qiladi. 8.38-rasmdan ko'rinib turibdiki qamrash burchagi- φ_{qam} , turbinaning maksimal bosimiga- N_{maks} . ham bog'liqdir. Qamrash burchagining- φ_{qam} kichik miqdorlarini qabul qilish bo'yicha alohida holatlar ham bo'lgan. Masalan, Volga GESi beton turbinakameralarining qamrash burchagi- $\varphi_{qam} = 135^\circ$ ga teng. Qamrash burchagining kichik bo'lishi, turbina statorini GES binosi blokining o'rtasiga joylashtirish lozimligiga nisbatan asoslangan. Beton kameralarning ko'ndalang kesim yuzasi trapetsiya shaklida bo'ladi, shu bilan birga balandligi- b odatda kengligiga- a nisbatan kattaroq bo'ladi. Bunday kesim yuzasi, kameraning plandagi

o'lchamlarini kamaytirish, ayniqsa spiralning kengligini- V_{sp} . kamaytirish maqsadida qilinadi.

Uch xil shakldagi beton kameralari qo'llaniladi: o'zgarmas sathli potolokli, pastga qarab rivojlangan (8.39, *a*-rasm) ; o'zgarmas sathli polli, yuqoriga qarab rivojlangan (8.39, *b*-rasm) ; o'zgaruvchan sathli potolokli va polli, ikki tavrli (8.39, *c*-rasm) . U yoki bu shakldagi beton kameralarni tanlash, GES binosi blokining samarali kompanovkalash shartlariga asosan aniqlanadi.

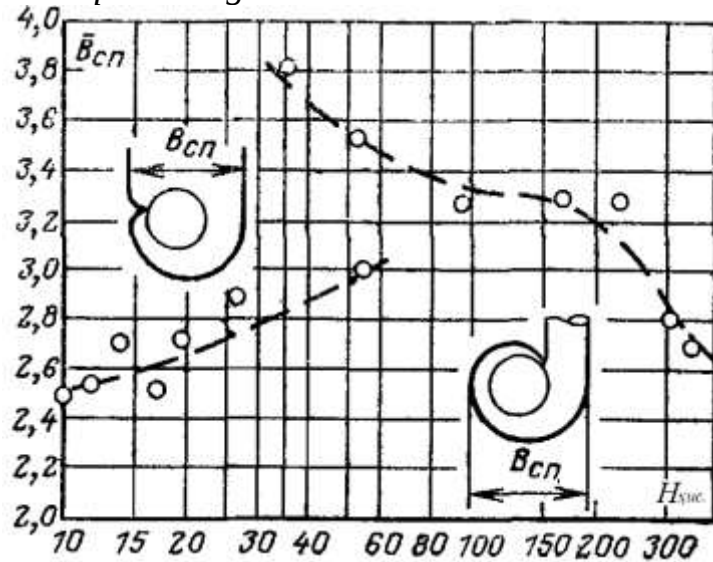


8.39-rasm. Beton turbina kameralari

Turbina kameralarining muhim xususiyatlaridan biri shundan iboratki, yo'naltiruvchi moslama perimetrining katta qismi suvni to'g'ridan-to'g'ri olib keluvchi suv o'tkazuvchi-quvurdan oladi ($\varphi_{\text{qam.}}=180^\circ$ bo'lganda -yarmi) . 8.39-rasmdan ko'rinib turibdiki, bunda stator va yo'naltiruvchi moslamaning kuraklariga suv uztish qulay emas, chunki stator va yo'naltiruvchi moslamaga kirishda suvning tezligi keskin o'zgaradi. Yo'naltiruvchi moslamaga oqimni kirish sharoitini yaxshilash maqsadida, spiralning o'ng choragidagi tishi oldiga egri chiziqli kolonnalar qo'yiladi, shu bilan birga kolonnalarning qadamini bunda kichikroq qilishadi. Ba'zan, past bosimli turbinalar uchun, to'g'ri burchakli turbina kameralarini qo'llash imkoniyati masalasi ko'riladi. Bosim 50 m dan ko'proq bo'lganda spiral kameralar, qalinligi 10÷16 mm bo'lgan po'lat listli qoplamalar bilan ta'minlanadi. Bu qoplama asosan filtratsiyaga qarshi himoya vositasi sifatida xizmat qiladi, ammo konstruksiyani mustahkamlikka hisob qilinganda e'tiborga olinadi. Qoplama betonga yaxshi ankerlangan bo'lishi kerak. Hidroelektrostansiyalar loyiha qilinganda, GES binosi bloki kompanovkasi va qurilish konstruksiyalari bilan yaxshi bog'lash maqsadida, turbina kameralarining shakli va o'lchamlarini o'zgartirish imkoniyatini qarab chiqish lozim. Eng muhim parametrlardan biri, turbina kamerasining kengligi - V_{sp} . hisoblanadi.

8.40-rasmda nisbiy miqdor - $\bar{B}_{cn} = \frac{B_{cn}}{D_1}$ ko'rsatilgan.

bunda: D_1 – hisob bosimiga – $N_{his.}$ nisbatan ish g'ildiragi diametri. Shu rasmning o'zida ba'zi bir GESlarga to'g'ri keladigan nuqtalar berilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, nuqtalar bir-biridan, ayniqsa beton tubina kameralari uchun ancha uzoqroq joylashgan. Nuqtalarning bu tarqoqligi asosan, ko'ndalang kesimi shaklining farqi bilan bog'liq. *Turbina kameralarining shakli va gabaritlarini tanlash, gidravlik hisob orqali amalga oshiriladi.*



8.40-rasm. Turbina kamerasining kengligi

Modomiki turbina kamerasi to'g'ridan-to'g'ri stator gardishiga yonishib turar ekan, albatta uning nisbiy balandligi - $\bar{b}_0$ va kolonnalarning kirish - $D_{kir.}$ va chiqish - $D_{chiq.}$ chetlari diametrlarini joylashishi bilan ta'riflanadigan o'lchamlarini bilishimiz zarur (8.6.2 va 8.40-rasmlarga qarang).

Balandlik - $\bar{b}_0$, turbinaning gabarit chizmalarida beriladi va ularning turiga bog'liq bo'ladi. Statorning o'lchamlari uncha katta o'zgarmaydi.

Beton kamerali turbinalar uchun:

- $D_{kir.} = 1,5 \div 1,55$ va $D_{chiq.} = 1,3 \div 1,35$, $D_1 < 4,0$ m bo'lganda katta miqdorlarga teng bo'ladi.

Metall spiral kamerali turbinalar uchun:

- $D_{kir.} = 1,55 \div 1,64$ va $D_{chiq.} = 1,33 \div 1,37$, $D_1 < 3,2$ m bo'lganda katta miqdorlarga teng bo'ladi.

Bundan tashqari, 100 m dan ortiq bo'lgan bosimlar uchun ikkala diametr ham 0,03-0,07 ga ko'payadi.

Turbina kameralarini gidravlik hisoblash uchun boshlang'ich holat, *yo'naltiruvchi moslamaning perimetri va statorga suv sarfini bir tekis uzatilishi hisoblanadi.*

Bundan shu kelib chiqadiki, φ burchak bilan aniqlanadigan, spiralning berilgan kesimidan o'tadigan suv sarfi - Q_φ quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$Q_\varphi = Q \frac{\varphi}{360^\circ} \quad (8.17)$$

bunda: Q – turbinaning to'liq suv sarfi;

φ - spiral tishining oxiridan hisoblanadigan burchak.

Spiral kameraning kirish kesimidagi suv sarfi quyidagiga teng:

$$Q_{cn.ex} = Q \frac{\varphi_{oxg}}{360^0}$$

Spiral kameraning kesimi o'lchamlari, quyidagi ikki gipotezadan biri asosida aniqlanadi:

- berilgan oqim tezliklarining o'rtacha aylanma komponenti – $V_{u.o'rt.}$ miqdori bo'yicha;

- statorning chiqish diametrda - $D_{st.chiq}$ berilgan oqim tezligining yo'nalishi bo'yicha, ya'ni to'g'ridan-to'g'ri yo'naltiruvchi moslamaga kirish oldidan.

1. O'rtacha tezlik miqdoriga nisbatan hisoblash, o'rtacha tezlikning doimiyligi qonuniga asosan amalga oshiriladi –

$$V_{u.o'rt} = V_{doim. o'rt. kir.} = const,$$

bunda: $V_{doim. o'rt. kir.}$ - spiralning kirish 0-0 kesimidagi o'rtacha tezlik (8.41-rasm) .

Kirish kesimidagi o'rtacha tezlik - $V_{doim. o'rt. kir.}$ miqdorini nisbatan kattaroq olish kerak, chunki bu turbina spiral kamerasi o'lchamlarini kichrayishiga olib keladi. Ammo shu vaqtning o'zida kirish qismidagi o'rtacha tezlik- $V_{doim. o'rt. kir.}$ haddan tashqari ko'paytirilsa, yo'qotishlar sezilarli oshib boradi (FIK kamayadi) va turbinaning suv o'tkazish qobiliyati kamayadi.

Spiralning uzunligi bo'yicha o'rtacha tezlikning o'zgarishini bilgan holda, spiral kameraning mos meridian kesimi yuzasini topish mumkin.

$$F_{\varphi} = \frac{\varphi_{oxg}}{v_{ucc}(\varphi)360} \quad (8.18)$$

Shu bilan birga $v_{u\ddot{n}\delta} = const$ bo'lganda, $v_{u\ddot{n}\delta} \approx v_{\ddot{n}\ddot{i}. \ddot{a}\delta}$ deb olishadi.

Dumaloq ko'ndalang kesimli metall spiral kameraning gabaritlari juda sodda aniqlanadi: burchak φ ga har xil miqdorlar beriladi va har bir burchak uchun 8.18 formula bilan mos yuzalar va radiuslar hisoblanadi.

$$r_{\varphi} = \sqrt{\frac{F_{\varphi}}{\pi}}$$

Aylana kesimlari shunday chiziladiki, ular stator gardishlarining yuqori va pastiga taqalishi kerak.

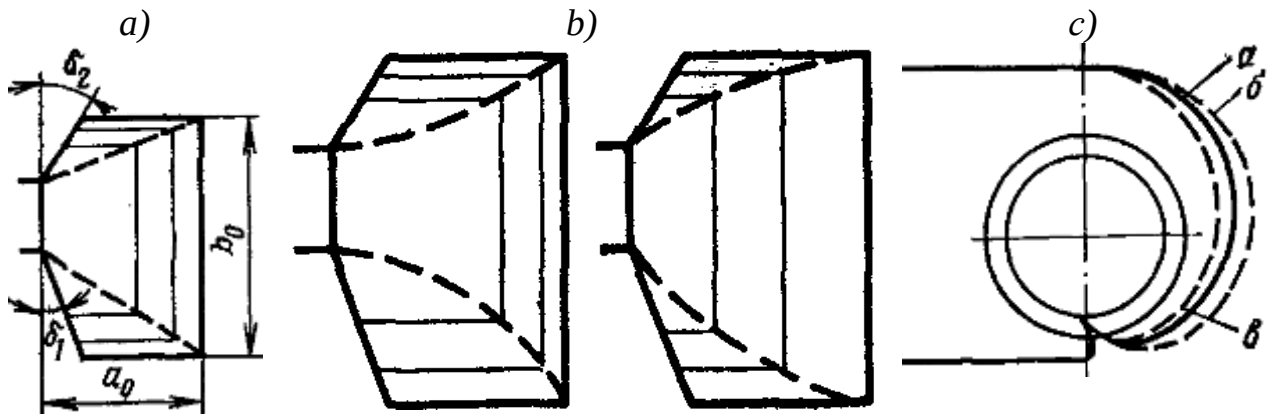
Beton spiral kameralar uchun avvalo $\varphi = \varphi_{qam.}$ va $v_{ucc} = v_{cn.ex}$ deb qabul qilib qamrash burchagi - $\varphi_{qam.}$ aniqlanadi, spiralning zarur bo'lgan kirish qismi qirqimining yuzasi – $F_{sp.kir.}$ hisoblanadi. GES binosi blokini kompanovkalash shartlariga asosan ko'ndalang kesim yuzasi tanlanadi va kirish qirqimi quriladi.

Bunda quyidagi shartlar hisobga olinadi: $\frac{b_0}{a_0} \leq 2 \div 2.5$, $\delta_1 = 15^\circ$, $\delta_2 = 25 \div 30^\circ$ (8.41-rasm) .

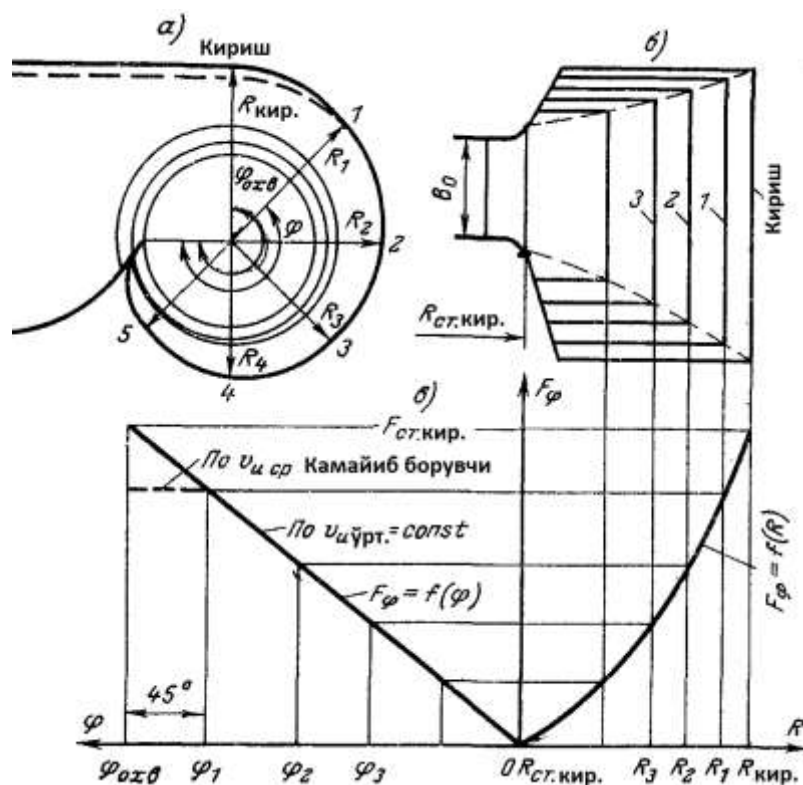
Oraliq kesimlarni qurishni umumiy usulini qabul qilish kerak. U tik devorni potolok va tub bilan kesishish egri chiziqlarida beriladi. Uch variant bo'lishi mumkin (2.41-rasm) : a – balandligi va kengligini bir xil kamaytirish; b – balandligini tezroq qisqartirish; c - kengligini tezroq qisqartirish. Planda v shakl torroq, b shakl eng keng. Ba'zida potolok yoki pol sathi spiral-larini o'zgaras qilib saqlashadi.

Beton spiral kamerani qurishni 8.42-rasmda ko'rsatilganidek grafik usulda amalga oshirish qulay. Qamrash burchagining - φ_{qam} , ma'lum miqdorini berib va yuza bo'yicha

$$F_{\text{cn.6x}} = \frac{Q\varphi_{\text{ox6}}}{v_{\text{cn.6x}}(\varphi)360^0}$$



8.41-rasm. Beton kameralarning oraliq kesimlarini qurish.



8.42-rasm. Beton spiral kameraning o'lchamlarini grafik usulda aniqlash.

Buni topib hamda GES binosi blokini kompanovkalashni hisobga olib, kameraning shakli tanlanadi va yuza - $F_{\text{ni.ao}}$, bo'yicha kirish kesimi o'lchamlari ham tanlanadi, statorning ma'lum o'lchamlari ($R_{\text{st.kir}}$ va b_0) bo'yicha olingan kesim quriladi (kirish 8.42, b - rasmda) va, uzunlik bo'yicha uning o'zgarish qonuni tanlanib (punktir chiziqlar), bir necha oraliq kesimlar chiziladi (1, 2, 3, ...). Qirqim ostida ikqilangan grafik quriladi (8.42, c - rasm): $F_\varphi = f(R)$ va $F_\varphi = f(\varphi)$, 3-4 formula bo'yicha. Oraliq kesimlarga bu egri chiziqlarni qo'yib, $R_1, R_2, \dots$ i $\varphi_1,$

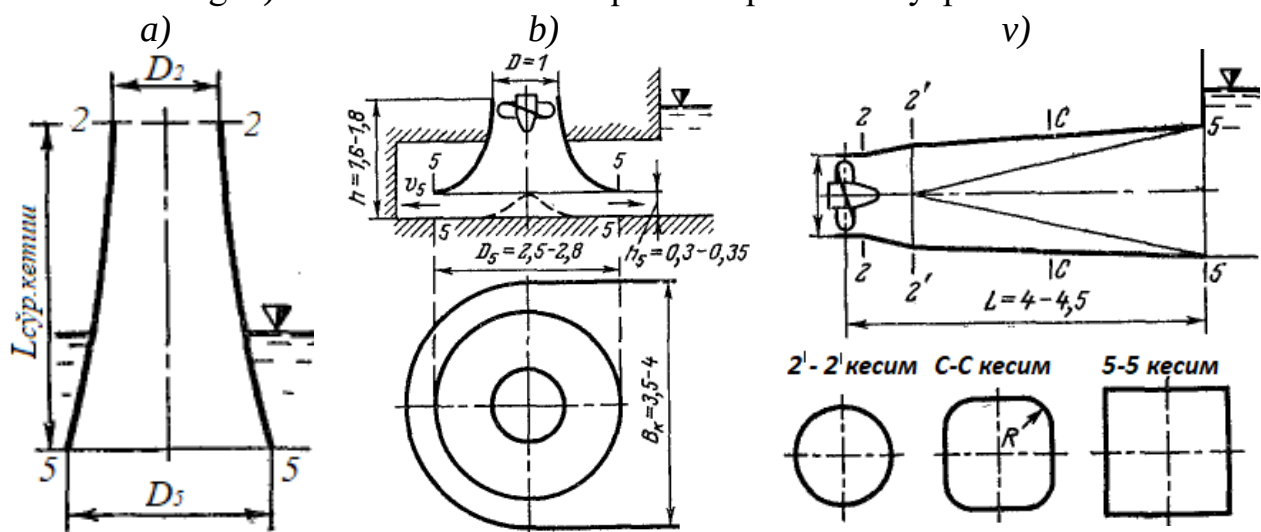
$\varphi_2 \dots$, kabi planda spiralni qurish imkonini beradigan mos miqdorlar topiladi (8.42, a-rasm). Agar kirish qirqimi o'lchamlarini kamaytirish zarur bo'lsa, unda 45° yaqin burchakda tezlikni kamayish qonunini qo'llash mumkin (8.42, a-rasm) punktir chiziqli bilan ko'rsatilgan).

8.2.6. So'rib ketish quvurlari

Reaktiv turbinalarning ish g'ildirigidan o'tgan suv, so'rib ketish quvuriga tushiriladi va quvur orqali pastgi befga olib ketiladi. So'rib ketish quvuri turbinaning energetik xarakteristikalariga muhim ta'sir ko'rsatadi, ayniqsa past bosimlilarga. So'rib ketish quvuri ma'lum darajada GES binosi asosini o'rnatish sathini hamda binoning pastgi bloki o'lchamlarini aniqlaydi. Shu munosabat bilan so'rib ketish quvurining shakli va o'lchamlarini aniqlash masalasi, GESni loyihalashda juda muhim ahamiyatga egadir.

So'rib ketish quvurlarining turlari. Ularni ikki xil turga bo'lish mumkin: to'g'ri o'qliva egilgan.

To'g'ri o'qli so'rib ketish quvurlari. To'g'ri o'qli so'rib ketish quvurlarining eng sodda turi, to'g'ri o'qli konusli quvur (8.43, a-rasm) hisoblanadi. To'g'ri o'qli konusli so'rib ketish quvuri yaxshi energetik ko'rsatgichlarga ega, ammo uning zarur bo'lgan uzunligi – $L_{\text{co'r.ketish}}$ juda ko'p bo'lganligi sababli, yirik vertikal turbinalarni o'rnatishda uning asosini juda chuqur bo'lishiga va GESning narxini oshishiga olib keladi. Shu munosabat bilan hozirgi kunda, bunday so'rib ketish quvurlari faqat mayda turbinalarda qo'llanilmoqda. To'g'ri o'qli so'rib ketish quvurlarining boshqa turlari 8.43-rasmida ko'rsatilgan. To'g'ri o'qli konussimon so'rib ketish quvurlarining samaradorligini birmuncha oshirish va uning uzunligini qisqartirish uchun uning tomonlarini egri chiziqli qilish kerak (8.43, a-rasm). Bu g'oyani kelajakda rivojlanishi, chiqish kesimi 5-5, silindrsimon shaklga ega bo'lgan rastrubli so'rib ketish quvuri deb nomlanadigan quvurga olib keladi (8.43, b-rasm). Ishlashini yaxshilash uchun markazda konoid qurish taklif qilinadi (punktir chiziqli bilan ko'rsatilgan). Ammo hozircha bu quvurlar qo'llanilmayapti.

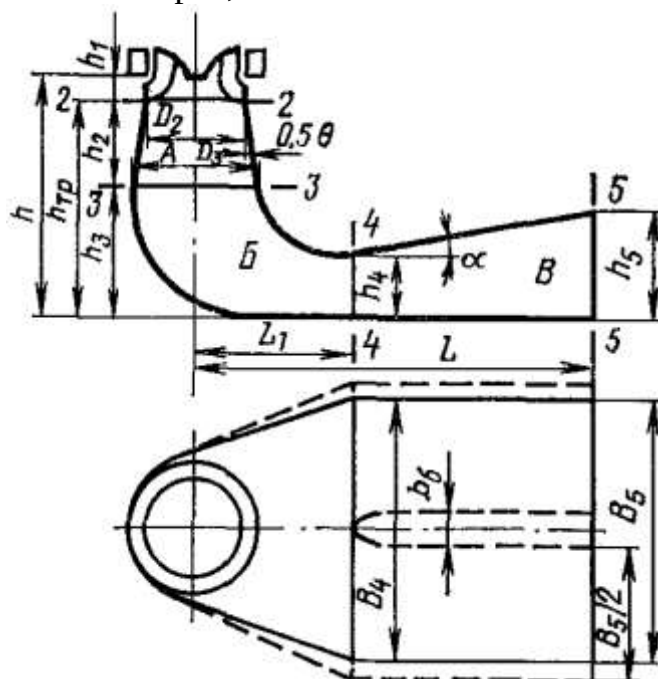


8.43-rasm. To'g'ri o'qli so'rib ketish quvuri

Gorizontal turbinalarda, asosan kapsulali agregatlarda (8.44-rasm) to'g'ri o'qli so'rib ketish quvurlari qo'llaniladi (8.43, c-rasm). 2-2 va 2¹-2¹ kesimlari

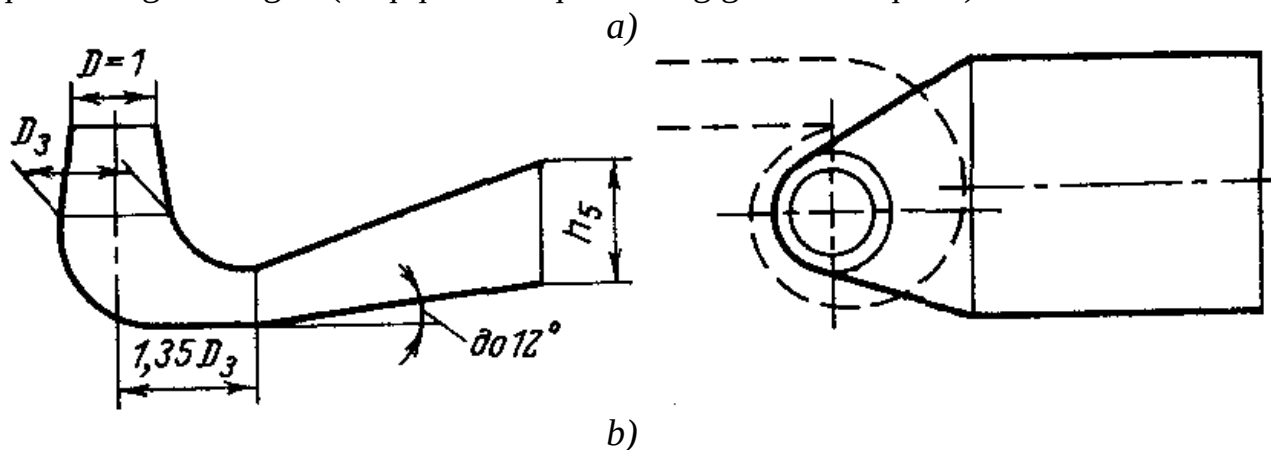
orasida quvur aylanasimon, undan chiqish kesimi 5-5 ga, kvadrat yoki to'rtburchak shaklidagi kesimga bir tekis ravon o'tiladi. Tajribalar shuni ko'rsatdiki, o'tishni katta uzunlikda bajarish lozim, bunda konus burchagi – θ , $14^{\circ} \div 16^{\circ}$ katta bo'lmashligi kerak.

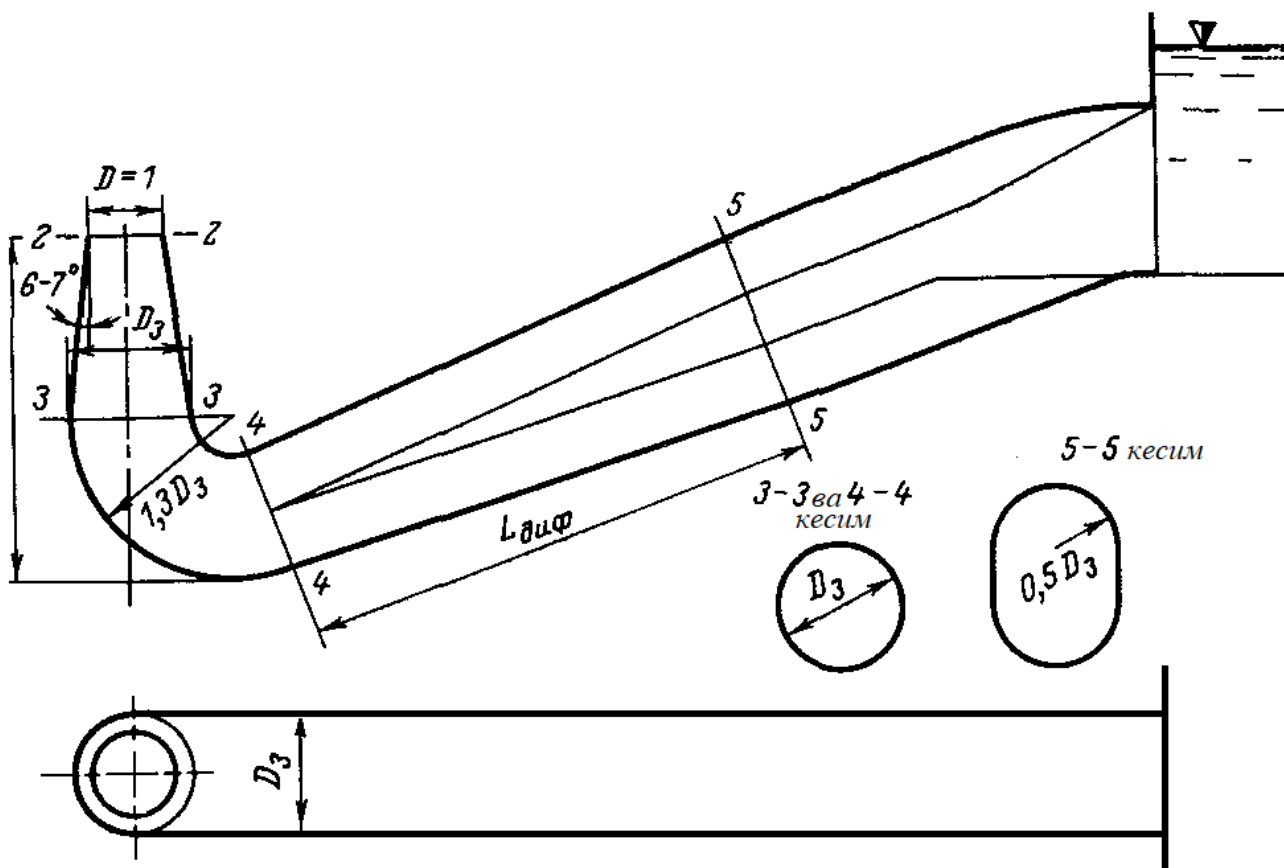
Egilgan so'rib ketish quvurlari amaliy jihatdan yirik vertikal turbinali barcha gidroelektrostansiyalarda qo'llaniladi. Bunda quvur (8.44-rasm) uch asosiy qismdan iborat bo'ladi: A - korpus; B - tirsak va C - olib ketuvchi diffuzor.



8.44-rasm. Egilgan so'rib ketish quvuri

Konus oralig'ida quvo'ring ko'ndalang kesimi aylana shaklida, sungra tirsakdan ular bir tekis to'g'ri burchakli kesimga kengligi juda tez ko'payib o'tadi va diffuzor qismida to'g'ri burchakli bo'lib saqlanadi, shu bilan birga kesim yuzasi balanlik hisobiga o'sib boradi (potolok α burchak ostida qiyalikka ega). Egilgan so'rib ketish quvurining eng xarakterli o'lchamlaridan biri yo'naltiruvchi moslamaning eng tagidan olinadigan balandligi – h (quvo'ring haqiqiy balanligi kichik va u konus - h_2 hamda tirsakning - h_3 balandliklari yig'indisidan iborat) va quvo'ring uzunligi L (haqiqatda bu quvo'ring gorizonta qismi) hisoblanadi.





8.45-rasm. Egilgan so'rib ketish quvurining turlari

Modomiki egilgan so'rib ketish quvurining tirsagi, to'g'ri o'qli quvurga nisbatan qo'shimcha gidravlik yo'qotishlar keltirib chiqarar ekan, ayniqsa tirsakning hamda diffuzor qismini shakli va o'lchamlarini puxta uylab tanlash talab qilinadi. Leningrad metall zavodi ishlab chiqaradigan egilgan so'rib ketish quvurining namunaviy tirsagi keng qo'llaniladi (OAO «Сilовые машины» (8.45-rasm) . Tirsak planda simmetrik bo'lishi yoki olib ketuvchi diffuzorning o'rta chizig'i so'rilgan bo'lishi mumkin. So'rib ketish quvurining o'lchamlarini topishda asosiy parametrlar: kirish diametri - D_2 va quvo'ning balandligi - h hisoblanadi. Ish g'ildiragining turi va uning o'lchamlari kirish diametriga nisbatan aniqlanadi. Energetik ko'rsatgichlari bo'yicha doimo balandroq quvur afzalroq hisoblanadi. Ammo shu bilan birga balandlik - h oshishi bilan ish hajmi va GESning narxi oshib boradi. Shuning uchun quvo'ning balandligi texnik-iqtisodiy mulohazalar orqali aniqlanadi. Keng qo'llaniladigan so'rib ketish quvurining turlari 8.46-rasmda ko'rsatilgan. Simmetrik bo'lmagan so'rib ketish quvuri, GES binosi blokini kompanovkalash shartlariga binoan juda qulay hisoblanadi (spiral kameraning konturi punktir chiziq bilan ko'rsatilgan) . Ish hajmini kamaytirish uchun ko'p holatlarda quvo'ning diffuzor qismi (12^0 gacha) qiya qilib tayyorlanadi. Bunda chiqish kesimining balandligi - hb saqlanib qoladi. Er osti va yarim er osti GESlarda quvur balanligini ko'payishi sezilarli qimmatlashuvga olib kelmaydi, shuning uchun bu stansiyalarda 8.45 b-rasmda ko'rsatilgan. Bunga konusli qismining balandligi va ancha uzun, qiyaligi 30^0 gacha bo'lgan diffuzor hisobiga erishiladi. Tirsak o'zgarmas kesimli qilinadi va tor shakliga ega. Diffuzor oralig'ida aylana, konusli burchak bilan oval kesimga o'zgartiriladi (kengligi planda saqlab qolinadi) .

8.2.7 Aktiv turbinalarning konstruksilari. Cho‘michli turbinalar.

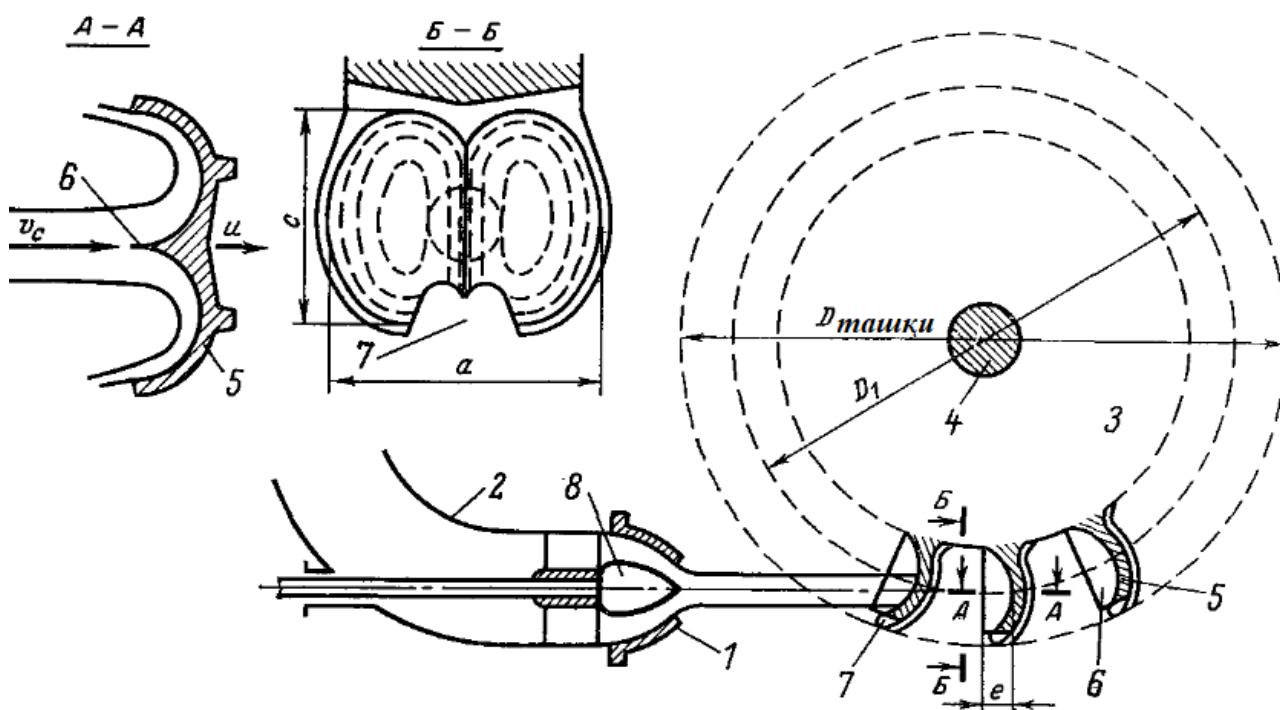
Aktiv gidroturbinalar. Eng ko‘p tarqalgan aktiv turbinalar, cho‘michli turbinalar hisoblanadi (chet ellarda ularni Pelton turbinasi deb atashadi). Cho‘michli turbina, bosimning $300 \div 1770 \text{ m}$ oralig‘ida, ish g‘ildiragining diametri $7,5 \text{ m}$ gacha bo‘lganda foydalaniladi. Cho‘michli turbinaning prinsipal sxemasi 8.47-rasmda keltirilgan.

Suv yuqori befdan quvurlar orqali diskka o‘xshab tayyorlangan, turbinaning gorizontal yoki vertikal valga mahkamlangan va havoda erkin aylanadigan ish g‘ildiragiga uzatiladi. Disk aylanasi bo‘ylab cho‘michga o‘xshash parraklar (cho‘michlar) joylashgan. Cho‘michlar ichida gidravlik energiya mexanik energiyaga aylantiriladi (8.47-rasm).

Ish g‘ildiragiga suvni uzatish, ichida tartibga soluvchi igna joylashgan soplo yordamida amalga oshiriladi. Quvur orqali soploga olib kelingan suvning hamma energiyasi (qarshiliklar tufayli yo‘qotilgan bosim olib tashlangandan sung), kinetik energiyaga aylantiriladi. Ish g‘ildiragi va soplo, bekitilgan g‘ilof ichiga joylashtiriladi joylashtiriladi.

Cho‘michli trbinalarda suv sarfi va quvvatni tartibga solish tartiga soluvchi soplo yordamida amalga oshiriladi

Cho‘michli turbina elementlari konstruksiyasini batafsil ko‘rib chiqamiz. Uning asosiy elementlari, quvur-2 orqali suv uzatiladigan soplo-1 va valga-4 o‘rnatilgan ish g‘ildiragi-3 hisoblanadi. Soplo va ish g‘ildiragi suv sathidan yuqoriga o‘rnatilgan, shuning uchun ish g‘ildiragi havoda erkin aylanadi.



8.47-rasm. cho‘michli turbinaning sxemasi.

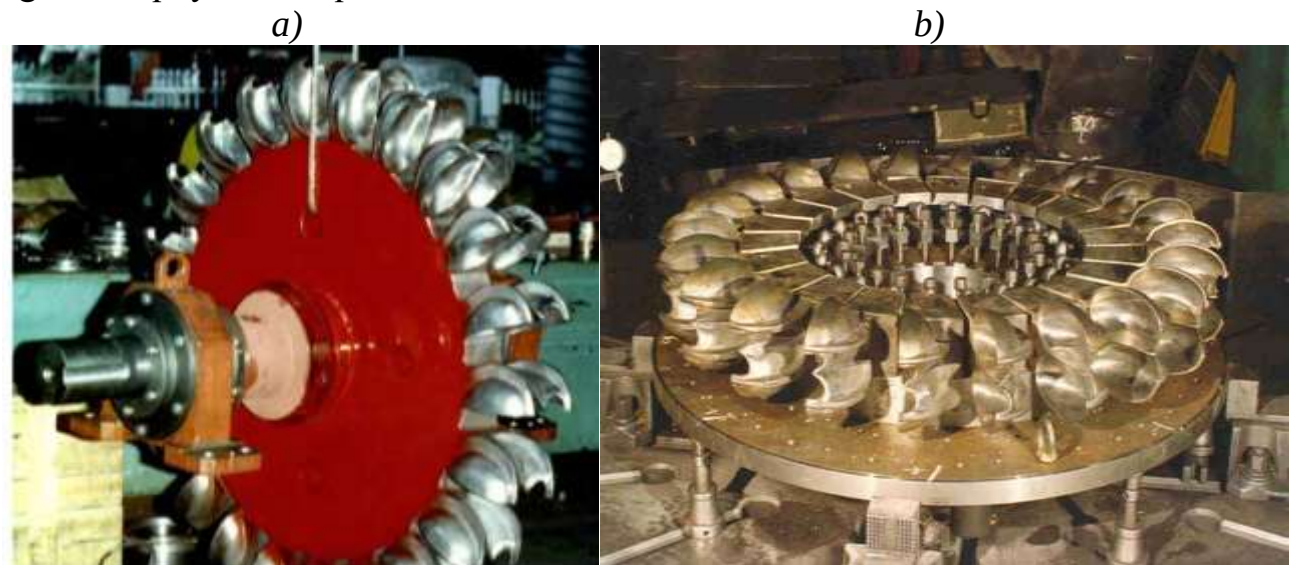
Soplodan bosim - N ta'siri ostida tezlik - V_{oqim} bilan otilyotgan suv oqimi quyidagi tenglik bilan aniqlanadi

$$v_c = \varphi \sqrt{2gH}$$

Tezlik koeffitsienti $\varphi = 0,98 \div 0,99$ ga teng. Ma'lumki, cho'michli turbinalar katta bosimlarda qo'llangani uchun tezlik- V_{oqim} juda katta bo'ladi. Shunday qilib, bosim - $N = 600 \text{ m}$ bo'lganda $V_{oqim} = 105 \text{ m/s}$, bosim - $N = 1500 \text{ m}$ ga teng bo'lganda tezlik - $V_{oqim} = 165 \text{ m/s}$ ga teng bo'ladi.

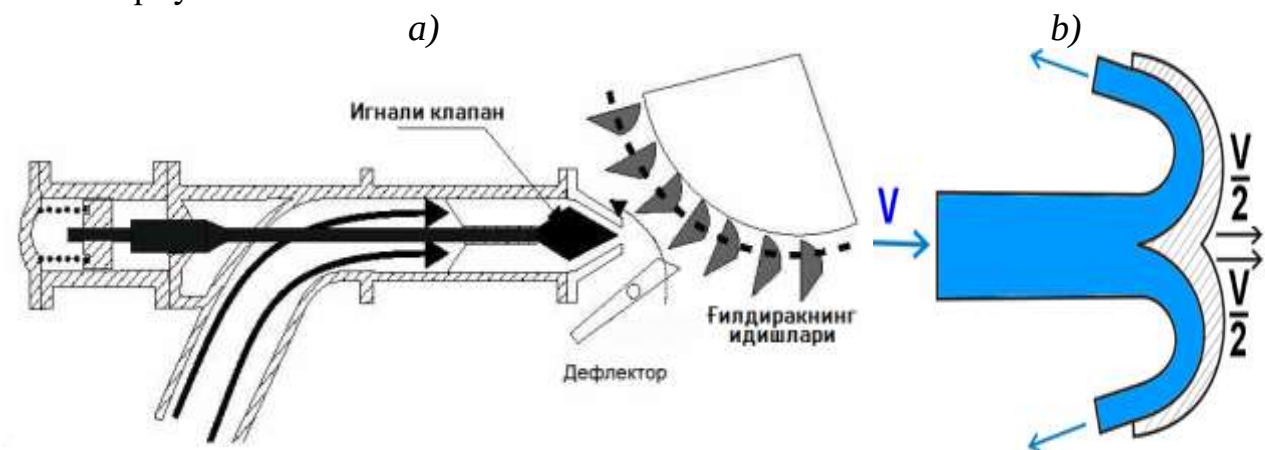
Ish g'ildiragi-3 diskdan va shakli jihatidan cho'michga o'xshash (shuning uchun nomi «cho'michli») ishchi parraklardan-5 tashkil topgan. Parraklarning umumiy soni $12 \div 40$ dona. Har bir parrak kesuvchi-6 bilan ajratilgan ikkita egri chiziqli tekislikdan tashkil topgan (A-A kesim va B-B ko'rinish) . Ish g'ildiragi shunday o'rnatiladiki kesuvchi, oqimning o'qiga to'g'ri kelishi kerak.

Ish g'ildiragi aylanish vaqtida parraklarning orqa tomoniga oqim urishini yo'qotish uchun parraklarda maxsus chok-7 qoldirish nazarda to'tilgan. Parrakka suv oqimi kelib urilganda u kesuvchi bilan ikkita teng qismga bo'linadi, va har biri egri chiziqli yuzada oqib o'tadi.



8.48-rasm. Vertikal (a) va gorizontal (b) o'rnatilgan cho'michli turbinaning ish g'ildiraklari

Suvning tezligi va yo'nalishini o'zgarishi hisobiga parraklarda bosim va ish g'ildiragi momenti hosil bo'ladi. Ish g'ildiragi momenti, ish g'ildiragini val bilan qo'shib aylantiradi. Modomiki suv parraklarga katta tezlikda oqib kirarkan, parraklarni aniqligiga, tozaligiga va ularning yuzasiga ishlov berilishiga juda yuqori talablar qo'yiladi.

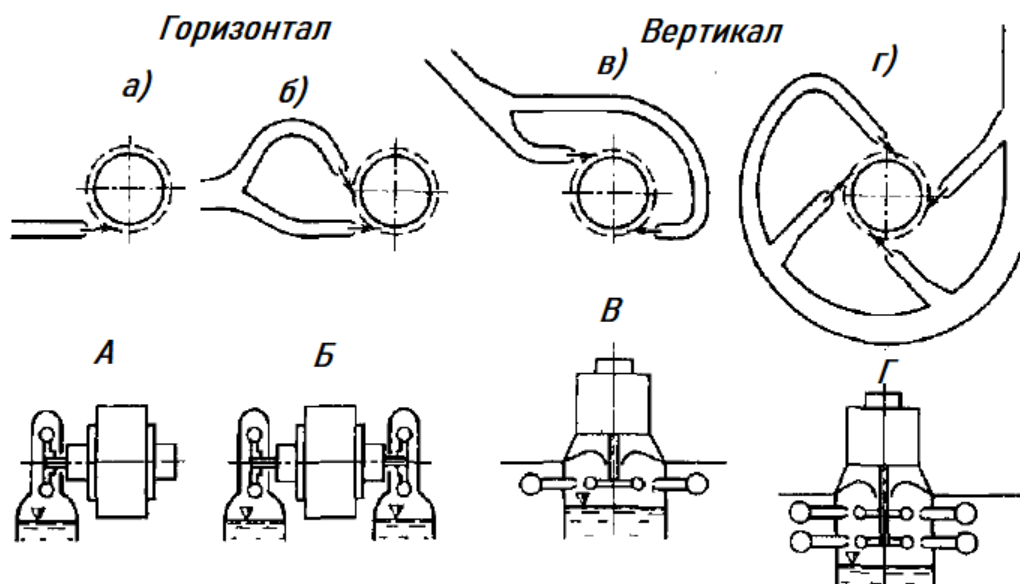


8.49-rasm. tartibga soluvchi soplo (a) va suv oqimini cho'mich kesuvchisi bilan bo'lish sxemasi (b)

Cho'michli turbinada quvvatni oshirish, suv sarfini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Buning uchun igna-8 xizmat qiladi. Ignani ishlashi 8.49-rasmda ko'satilgan. Iгна ichkariga tortilganda (8.49, a-rasm) soplo to'liq kesimi bilan ishlaydi va eng ko'p suv sarfini o'tkazadi. Ignani ilgariga so'rish bilan suv o'tadigan kesim kichrayib boradi, oqimning diametri kichrayib boradi va mos holda o'takazilayotgan suv sarfi kamayib boradi. Iгна soplone to'liq yopganda suv sarfi nolga teng bo'ladi. Soplodan oqib chiqayotganda oqimni siqilish effekti hosil bo'ladi, natijada oqimning diametri soplone diametridan kichik bo'ladi. Cho'michli turbina ish g'ildiragi parraklarining o'lchamlari odatda 8.48-rasm bo'yicha quyidagilarni tashkil qiladi: $a = (2,8 \div 3,6) d_{oqim}$, $s = (2,5 \div 2,8) d_{oqim}$ $e = (0,9 \div 1,0) d_{oqim}$, (d_{oqim} – oqimning diametri). Cho'michli turbinalarga suv, uzun bosimli suv o'tkazuvchi quvurlar orqali uzatiladi. Sopla tez yopilib suv sarfi kamayganda hosil bo'ladigan gidravlik zarb natijasida, suv o'tkazuvchi quvurlarda qo'shimcha yuklamalar hosil bo'ladi. Cho'michli turbinalarda soplone yopmasdan ya'ni suvni kamaytirmasdan turib quvvatni vaqtincha pasaytirish mumkin. Buning uchun suv oqimini cho'michlardan boshqa tomonga burib qo'yish kerak. Oqimga bunday ta'sir qilish, to'g'rida-to'g'ri soplodan keyin o'rnatiladigan deflektor tomonidan amalga oshiriladi. Qurilma quyidagicha harakat qiladi. Turbina tomonidan ishlab chiqarilayotgan energiyani tezda kamaytirish lozim bo'lganda, deflektorni boshqaradigan servomotorga impul uzatiladi, va deflektor juda tez (2-3 sekundda) siljtiladi, bu esa lozim bo'lgan quvvatni kamayishiga olib keladi. Ammo suv sarfi miqdori o'zgarmasdan qoladi. Bir vaqtning o'zida ignani yopishga ham impuls uzatiladi, amma igna sekin harakatlanadi va mos holda uzatilayotgan suv sarfi asta-sekin kamayadi, natijada katta gidravlik zarbni hosil bo'lishini oldi olinadi (ignani to'liq yopilish uchun ketadigan vaqt 20-40 sekundni tashkil qiladi). Ignani yopilishi bilan bir qatorda, deflektor suv oqimidan olinadi va tizim normal ish rejimiga olib kelinadi. Cho'michli turbinani yaratish bir qancha o'ziga xos qiyinchiliklar bilan bog'liq. Ulardan biri ish g'ildiragining konstruksiya, xususan parraklarni mahkamlash tizimidir. Eng osoni, har bir parrakni alohida tayyorlab sungra disk-gupchakka mahkamlashdir. Biroq cho'michli turbinalarda parraklar juda og'ir sharoitda ishlaydilar. Ish g'ildiragi parraklarining aylanish jarayonida suv oqimidan olayotgan yuklamasi amaliy jihatdan o'zgarmasdan qoladigan reaktiv turbinalarga qaraganda cho'michli turbinalarda, parrak suv bosimi kuchi bilan maksimal yuklanadi, faqat parraklar suv oqimidan o'tgandan sung yuklamadan xalos bo'ladi. Shunday qilib parraklar o'zgaruvchan yuklama sharoitida ishlaydilar. Bu sharoitda ishlash, metallda charchash hodisasini keltirib chiqaradi, natijada mahkamlangan qismlarni liqillab va bo'shashib qolishiga olib keladi. Parraklarni boltlar, shpilkalar, ponalar qisib qo'yadigan gardishlar va boshqa echiladigan asboblalar bilan mahkamlashning juda ko'p turlari mavjud. Oxirgi vaqtlarda, echilmaydigan yaxlit quyiladigan va yaxlit payvandlanadigan ish g'ildiraklarini qo'llay boshlashdi, bu esa legirovanlangan po'latni quyish va payvandlash texnikasining taraqqiyotiga olib keldi. Misol sifatida yaxlit quyilgan cho'michli turbinaning ish g'ildiragi 8.50-rasmda ko'rsatilgan. Ba'zan bir guruh parraklar birgalikda yaxlit quyiladi va bunday holatlarda g'ildirak gardishi uch-olti qismdan iborat qilib yig'iladi.

Cho‘michli turbinaning konstruktiv shakllari juda xilma-xildir, ular valining joylashishi hamda soplolar soni va ish g‘ildiragini bir valdagi bo‘lishiga nisbatan bir-biridan farqlanadi. Soplolar sonini ko‘paytirish, turbinaning o‘lchamlarini kamayishiga va quvvatli turbinalar uchun juda muhim bo‘lgan aylanish chastotasini ko‘payishiga olib keladi. Cho‘michli turbinalarning ko‘proq tarqalgan konstruktiv sxemalari 8.50-rasmda ko‘rsatilgan.

Valning holati bo‘yicha hamma turbinalar ikki guruhga bo‘linadi: gorizontall va vertikal. Ish g‘ildiragiga oqimni uzatishning turli xillari bo‘lishi mumkin. Gorizontall turbinalarda bir oqimni (a) uzatish sxemasidan hamda maxsus tarmoqlanish shaklini talab qiladigan, ikki oqimni (b) uzatish sxemasidan foydalaniladi. Vertikal turbinalarda, qamrab oladigan-spiral suv o‘tkazuvchini tanlash bilan, turli sondagi oqim va burishlarni amalga oshirish oson bo‘ladi, masalan ikki (v), to‘rt (g), olti, ba‘zan esa ularning soni toq ham bo‘lishi mumkin. Turbina bir yoki ikki ish g‘ildirakli bo‘lishi mumkin. Gorizontall agregatlarda, bir ish g‘ildirakli (A) va ikki ish g‘ildirakli (B) turbinalardan tez-tez foydalaniladi. Vertikal agregatlarda qoidaga asosan, bir ish g‘ildirakli turbinalar (V) o‘rnatilishi, ammo ikkita (G) ish g‘ildark turbinalar ham o‘rnatilishi mumkin.



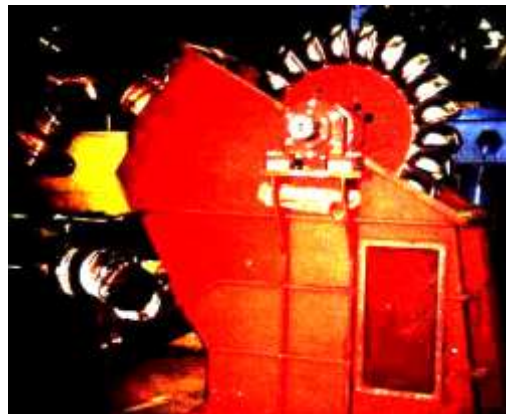
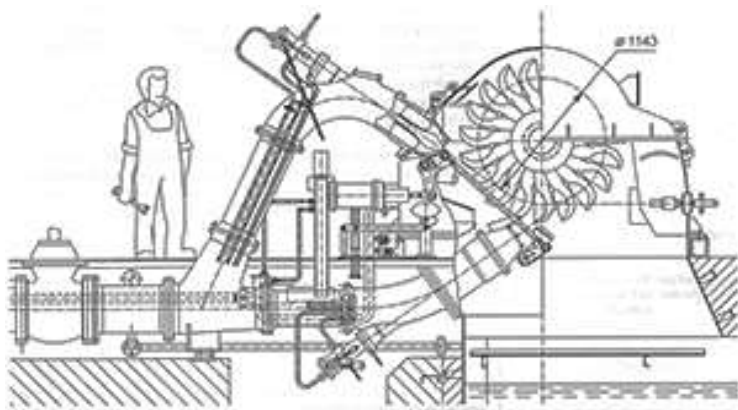
8.50-rasm. Cho‘michli turbinalarning konstruktiv shakllari.

Hamdo‘stlik mamlakatlarida cho‘michli turbinalar juda oz. Eng katta turbina Tatevsk GES uchun Leningrad metall zavodida yaratilgan (quvvati 54,6 MVt) .

Ko‘pgina boshqa turbinalarga qaraganda ushbu turbinalarda suv oqimi, o‘q bo‘ylab yoki radial yo‘nalishda harakatlanadi. Ko‘ndalang oqimli turbinalarda suv, ko‘ndalang yo‘nalish bo‘ylab ikki marta parraklari orqali, avvalo o‘q yo‘nalishi bo‘ylab, sungra undan o‘tadi. Shuning uchun ushbu turdagi turbinani ba‘zan, ikki karrali turbina deb atashadi. Suv g‘ildiragi va ko‘ndalang oqimli turbinalar juda ko‘p o‘xshashlikka ega, asosan ularda suv oqimi g‘ildirakning chekkasidan o‘tadi.

a)

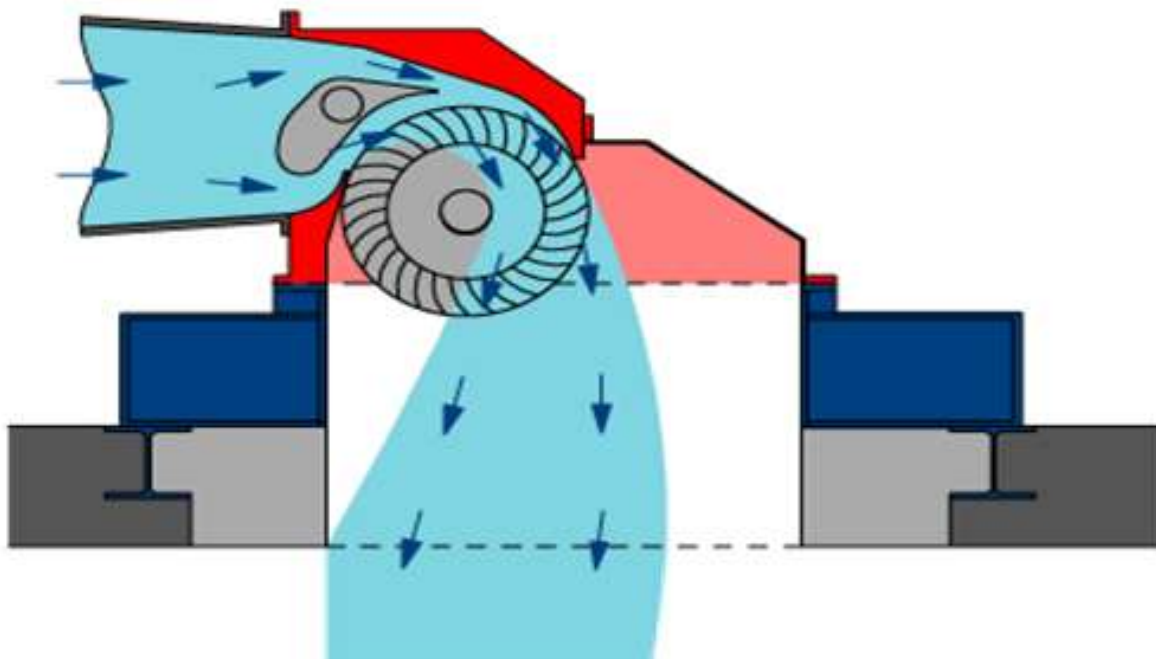
b)



8.51-rasm. Ikki soploli choʻmichli turbina.

8.2.8. Ikki karra harakatlanadigan va qiya oqimli turbinalar

Turbina rotorining ichki qismiga tushgan suv, keyin, qarama-qarshi tomonga ketadi va parraklarga energiyaning qolgan qismini berib, tashqariga chiqadi. Turbina rotoridan bunday ikki karra oʻtish, turbinani qoʻshimcha energiya samaradorligi bilan taʼminlaydi. Bundan tashqari, gʻildirakdan chiqib ketayotgan suv, turbinani mayda axlatlar va har xil iflosliklardan tozalaydi. Koʻndalang oqimli turbina, nisbatan kichik tez yurishga ega, shuning uchun bunday turbinalar koʻproq past bosimli, ammo katta suv sarfli manbalarga moʻljallangan.

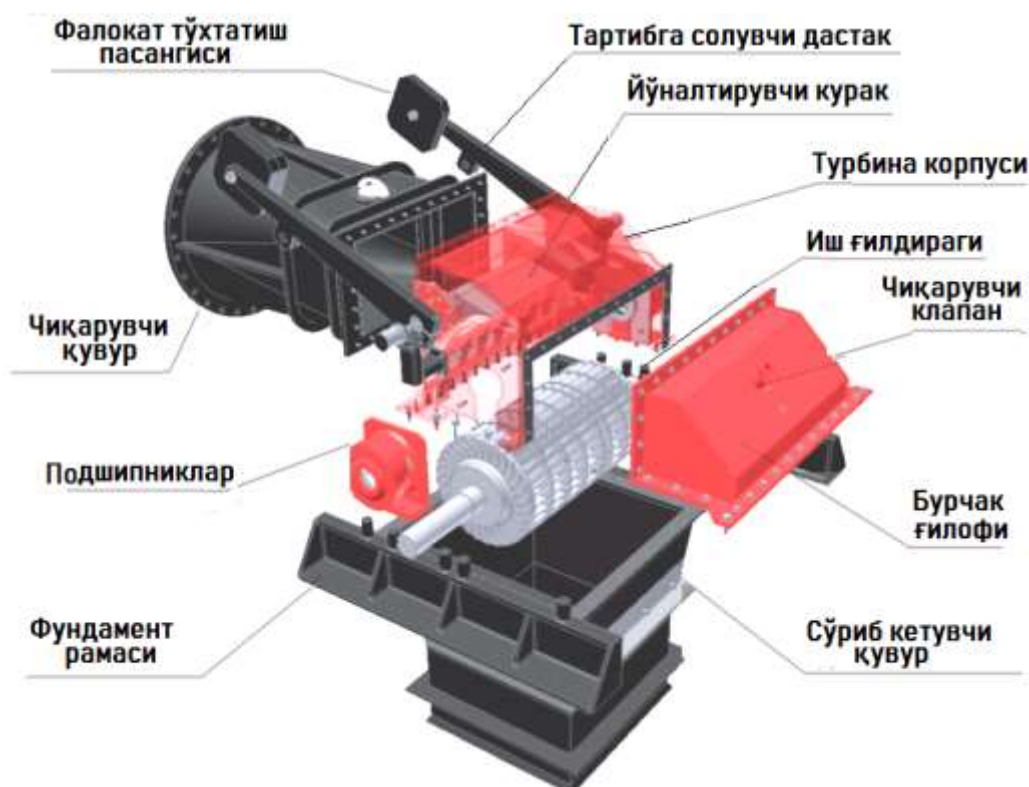


8.52-rasm. Ikki karrali turbinaning harakatlanish prinsipi va sxemasi.

Turbina, silindrik gʻildirak yoki gorizontal valli rotordan hamda unga mahkamlangan radial va tangensial joylashgan juda koʻp (37 lonagacha) parraklardan iboratdir. Gidrodinamik qarshilikni kamaytirish uchun tigʻning qirrasi oʻtkirlangan. Parraklar uzunligi boʻyicha qirqilgan quvur segmentlari koʻrinishida tayyorlangan. Parraklar oxiri aylantiruvchi momentni valga uzatuvchi diskka payvandlangan va “olmaxon qafasini” eslatuvchi, sterjenlar oʻrnida togʻorasimon parraklar qoʻllangan karkasdan tashkil topgan. shuning uchun bu turdagi turbinani baʼzan, uch fazali dvigatel rotoriga qiyoslab, “qisqa tutashuvchi” turbina deb ham atashadi.

Turbina rotoriga suv oqimi odatda, to'g'ri burchak shakliga ega bo'lgan yo'naltiruvchi soplo orqali uzatiladi. Oqimning ko'ndalang kesimi, parrak yoki til shaklidagi tarmoq bilan tartibga solinadi. Suv uzatishning ikki sxemasidan birini qo'llaashga nisbatan rotorga, 45 yoki 120 gradus burchak ostida suv uzatiladi va natijada rotorning parraklari kinetik energiyani qabul qiladi. Turbinaga suv ko'ndalang oqim sifatida avvalo uning tashqi tomonidan ichkarisiga oqadi, bu holatda oqim parraklarga o'zining kinetik energiyasini ichki tomondan uzatadi.

Tartibga soluvchi qurilma suv oqimini, ikkita asosiy kattalik - suv oqimining borligi va zarur bo'lgan energiya asosida boshqaradi. Uzatish vaqti va 0 dan 100% gacha oraliqda turbinaga uzatilayotgan suv hajmi boshqaruvchi parametrlar hisoblanadi. Turbinaga suv, kesim yuzasi ikkita tilga o'xshash yo'naltiruvchi parraklar bilan o'zgartiriladigan, ikkita soplolar orqali uzatiladi. Bu holat, soplodan oqib chiqayotgan suv oqimining har qanday kenglikdagi ochiqqligida ham bir tekis o'zgarishini ta'minlaydi. Yo'naltiruvchi parraklar eng oxirgi holatida, turbinaga suv uzatuvchi klapan sifatida soplani butunlay bekitib qo'yadi. Ikkala yo'naltiruvchi parraklar qo'lda yoki avtomatik tarzda boshqariladigan dastaklar yordamida aylanishi mumkin.



8.53-rasm. Ikki karrali urbinaning konstruksiyasi

Turbinaning geometriyasi (soplo-rotor-val) , oqimning kinetik energiyasini qaytadan samarali aylanish energiyasiga aylantirishni ta'minlaydi. Suv parraklarga ikki marta ta'sir qiladi, ammo suv enegiyasining katta qismi kirishda, rotorga suv kirgan vaqtda qayta aylantiriladi. Turbinadan suv chiqish vaqtida esa rotorga, faqatgina quvvatning uchdan bir qismigina beriladi xolos.

Ko'ndalang kesimli oqim turbinasiga, nisbatan sodda konstruksiyali bo'lganligi sababli, juda kam ekspluatatsiya xarajatlari sarflanadi. Ushbu turbinaning maksimal foydali ish koeffitsienti 80%ni tashkil qilib, Kaplana, Frensis va Peltona turbinalarinikiga qaraganda bir necha barobar kam hisoblanadi. Ammo ularga qaraganda ko'ndalang kesimli oqim turbinasi o'zgaruvchan yuklamada, bir tekis foydali ish koeffitsientiga ega bo'ladi. Ikqilangan rotor va turbina kamerasida, ko'ndalang kesimli oqim turbinasi 1/6 dan maksimumgacha o'zgaradigan yuklanish bilan yuklanganda o'z samaradorligini saqlab qoladi.

Uncha katta bo'lmagan narxli va yaxshi boshqarilishi tufayli, ko'ndalang kesimli oqim turbinasi, asosan quvvati ikki ming kVt dan va bosimi 200 m dan kichik bosimli mini va mikro GES energo blokklarida foydalaniladi.

Qisman yuklangandagi juda yaxshi samaradorligi sababli, ko'ndalang kesimli oqim turbinasi, avtomatik tarzda elektroenergiya ishlab chiqarish uchun juda mos keladi. Uning sodda konstruksiyasi boshqa turbinalarga qaraganda xizmat ko'rsatishni juda engil qiladi; faqatgina ikkita podshipnik va faqatgina uchta aylanuvchi detal talab qiladi. Turbinaning mexanik qismi juda sodda, shuning uchun uni ta'mirlashni mahalliy ustalar ham amalga oshirishlari mumkin.

Ko'ndalang kesimli oqim turbinasining yana bir afzallik tomoni, o'zini o'zi tozalashidir: rotordan chiqayotgan suv, markazdan qosma kuch bilan birgalikda ta'sir qilib, u erga tushgan barglarni, o'tlarni va boshqa kichik predmetlarni yuvib tashlaydi. Bu holat, ko'ndalang kesimli oqim turbinasining, ba'zan boshqa turdagi turbinalarda suv bilan olib kirilgan axlatlar bilan tiqilib qolganda yuz beradigan, samaradorligini kamayishi oldini oladi. Shuning uchun, ko'ndalang kesimli oqim turbinasining maksimal foydali ish koeffitsienti boshqa tizimlarga qaraganda birmuncha kichik bo'lishiga qaramasdan, ish davrida u juda ishonchli hisoblanadi. odatda ko'ndalang kesimli oqim turbinasi rotorini maxsus tozalashga hojat yo'q, masalan, teskari oqim uzatish bilan, suv oqimi tezligi yoki aylanishlar sonini o'zgartirish bilan. Boshqa turdagi turbinalar axlat bilan juda oson tiqilib qoladi. Shuning uchun ularning o'rtacha elektr energiyasi ishlab chiqarishi, maksimal yuklanganda nominal foydali ish koeffitsientiga ega bo'lishlariga qaramasdan, ko'ndalang kesimli oqim turbinasinikidan kichikroq.

Qiya oqimli turbinalar. Qiya oqimli turbinalar (Tyurgo turbinalari) -ning cho'michli turbinalardan farqi shundaki, suv oqimi ularning ish g'ildiragiga to'g'ri burchak ostida uzatilmaydi. Shuning uchun ularning cho'michlari geometriyasida ham o'zgarishlar bor. Qiya oqimli turbinaning g'ildiragi (u bilan birgalikda turbinaning o'zi ham) , o'ng aylanishli yoki o'ng g'ildirak yoki turbina deb nomlanadi

Agar g'ildirakka soplo tomonidan qaralsa u soat strelokasi bo'ylab aylanadi, va chap teskari aylanganda. Shuning uchun qiya oqimli turbina juda katta aylanishli hisoblanadi.



8.54-rasm. Ikki karra harakatlanadigan turbinaning rotori



8.55-rasm. Qiya oqimli turbinaning ish g'ildiragi

8.3. GIDRAVLIK TURBINALARNING ASOSIY NAZARIYALARI

8.3.1. Reaktiv turbinalar ish g'ildiragidagi oqim kinematikasi

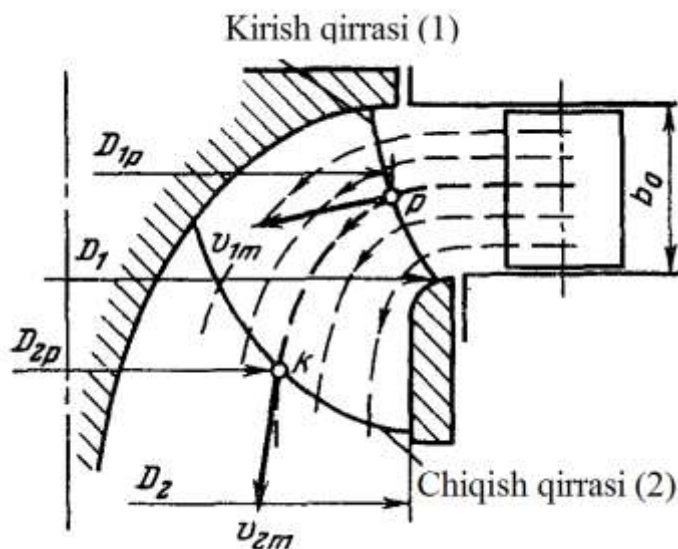
Suyuqlik energiyasini valni aylanma harakatga keltiruvchi mexanik energiyaga aylantirish, oqimning ish g'ildiragi parraklari bilan o'zaro ta'siri tufayli, aylanadigan panjara shaklini ifodalovchi ish g'ildiragida amalga oshiriladi. Ish g'ildiragidagi suyuqlik harakatini o'rganishda bu harakat, quyidagi ikki murakkab harakatdan iborat deb hisoblanadi: *nisbiy va ko'chiriluvchi*. Suyuqlikning nisbiy harakati, ishchi g'ildiragiga nisbatan harakat sifatida qaraladi. Ko'chiriluvchi harakat, ish g'ildiragining o'zi va uning parraklari harakatini aniqlaydi. Turbinalarda bu- doimo aylanishdir. Nisbiy va ko'chiriluvchi harakatlarning yig'indisi, absolyut harakat deb ataladi. Agar nisbiy harakat vektor tezligini w va ko'chiriluvchi harakat vektor tezligini u deb belgilasak, unda absolyut harakat vektor tezligi v , vektorlar yig'indisiga sifatida aniqlanadi:

$$v = u + w \quad (8.19)$$

Bundan kelib chiqadiki, v , u va w orasidagi nisbatlar paralellogram yoki tezlik uchburchaklari bilan o'rnatiladi. Turbinalar konstruksiyasini ko'rib chiqish shuni ko'rsatadiki, har xil turbinalar uchun ishchi g'ildiragining shakli va bir xil turdagi turbinalar uchun bosimlar sezilarli darajada farq qiladi. Shu sababli, tezlik paralellogramini qurish imkonini beradigan har xil ish g'ildiraklarining geometrik xususiyatlarini aniqlaydigan umumiy prinsip (tomoyil) larni o'rnatish zarur. Umumiy holat sifatida radial-o'qiy turbinalarning ko'rib chiqamiz.

Turbinaning meridian kesimida (8.56-rasm) parraklarning kirish qirralaridagi 1 indeksi bilan belgilangan barcha nuqtalar va chiqish qirralaridagi 2 indeksi bilan belgilangan barcha nuqtalar bir joyga to'plangan? Yo'naltiruvchi moslamadan chiqayotgan oqimni maydoni va qatlamlarining balandligi bo'yicha bir necha bo'laklarga bo'lamiz (ushbu holatda ularning soni 6 dona) hamda g'ildirakdagi har bir qatlamni ham meridian tekislikka to'playmiz (olib chiqamiz). Olingan egri chiziqlar (nuqtali chiziqlar) bo'lib, bundan tashqari, bunday chiziqlarning har biri aylanish tekisligi oqim yuzasini ifodalaydi, ya'ni bu yuzalar harakatlanayotgan

oqim yuzasi bilan kesishmaydi (harakat qatlamli deb hisoblanadi) . Shunday qilib meridian tekislikdagi egri chiziqlar oqim yuzasi hisoblanadi. Shuhbasiz, ish g'ildiragidagi oqimning to'liq manzarasini o'rnatish uchun oqimning barcha meridian sirtlarida oqimchalarni hisobga olish zarur.

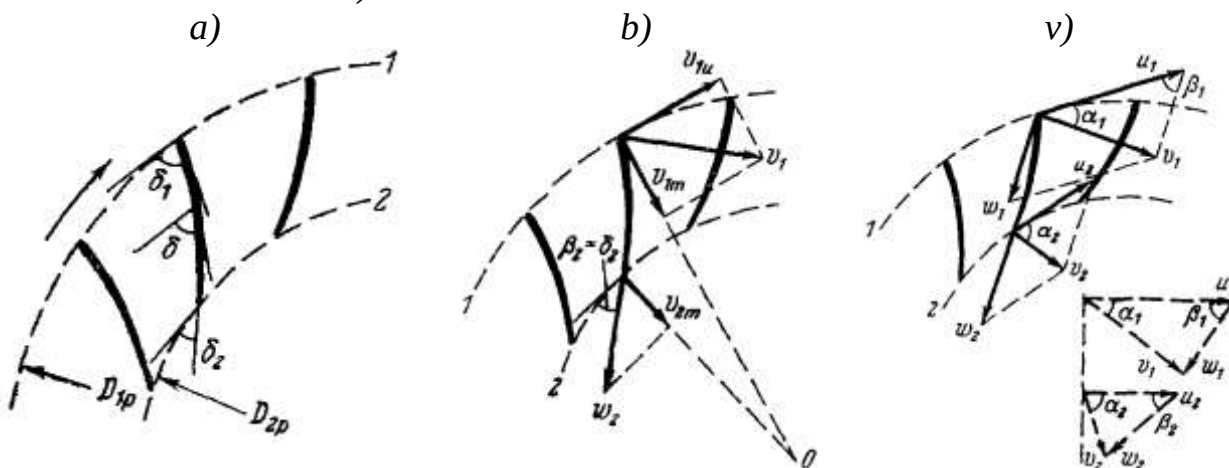


8.56-rasm. Radial-o'qiy turbinadagi oqim.

Ammo soddalashtirish uchun eng xarakterli, masalan o'rtacha $r-k$ egri chiziqni ajratib olib, va undan foydalanib oqim holatini tahlil qilish mumkin. Ish g'ildiragi parraklari kesimining o'rta tekislikdagi oqimchalarini ko'rib chiqamiz ($r-k$ egri chizig'i) . Bo'lar ba'zi fazoviy shakllar bo'ladi.

Fazoviy shakllarni tuzishni qulaylashtirish uchun ushbu kesimlar tekislikka olib chiqiladi va burchaklarning haqiqiy qiymatlari saqlab qolinadi (agar $r-k$ chiziq to'g'ri chiziqqa yaqin bo'lsa, unda uni aylantirish yo'li bilan konussimon yoki silindrik kesimga olib kelish, agar egri chiziqli bo'lsa, u holda tasvirlash mumkin) . Ta'rif qilingan usuldan amalda foydalanish, aniq holatlar ko'rib chiqilgandan keyin ma'lum bo'ladi.

Radial-o'qiy turbina ish g'ildiragining kesimi 8.57-rasmda ko'rsatilgan. bunda D_{1p} va D_{2p} -parraklarning kirish-1 va chiqish-2 qirralarining hisob diametrlari (8.56-rasmdan ko'rinib turibdiki, bu diametrlar kirish- D_1 va chiqish- D_2 nominal diametrlaridan kichikdir) .



8.57-rasm Radial-o'qiy turbina ish g'ildiragidagi oqim kinematikasi

Ushbu nuqtada ish g'ildiragi parraklarining yo'nalishi, suyuqlikning oqishi tomoniga va radiusga normal hamda g'ildirakning teskari aylanish tomoniga o'tkazilgan, parraklarning yon tomondan ko'rinishi o'rta chizig'i bilan o'rinma orasidagi δ burchak bilan aniqlanadi, Turbinaning ishlashshartlari (rejimi) ikkita parametr bilan belgilanadi: suv sarfi- Q va ish g'ildiragining aylanish chastotasi- p . Ish g'ildiragining berilgan o'lchamlarida bo'lar, tezlik parallelogramlarining komponentlarini aniqlash imkonini beradi. ko'chirilgan aylanma tezlik quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$u = \frac{\pi D n}{60} \quad (8.20)$$

Absolyut tezlik vektorining meridian tekislikka proeksiyasini-meridian tashkil etuvchisini- v_m taqriban quyidagi bog'lanish orqali topish mumkin

$$v_m = \frac{Q}{F_t} \quad (8.21)$$

bunda: F_t – yuzadagi oqimchalarga normal bo'lgan g'ildirakdagi oqim egallagan maydonning yig'indisi.

Boshqa zarur komponentlar ko'rib chiqilayotgan kesimga nisbatan olinadi. Masalan, radial-o'qiy turbinaning ish g'ildiragidagi 1-kirish kesimida- $F_1 = \pi D_{1p} b_p$, bunda b_p — g'ildirakning kirish qismi balandligi.

Keyin

$$v_{1m} = \frac{Q}{\pi D_{1p} b_p} \quad (8.22)$$

Tezlikning aylanma tashkil qiluvchisi- v_{1u} , oqimning yo'nliruvchi moslamadan chiqish shartlariga bog'liq va quyidagiga teng bo'ladi:

$$v_{1u} = v_{0u} \frac{D_{02}}{D_{1p}} \quad (8.23)$$

Ish g'ildiragidan chiqishdagi absolyut tezlik, vektorlar yig'indisidan iborat bo'ladi (8.57, b-rasm) .

$$v_1 = v_{1m} + v_{1u} \quad (8.24)$$

Absolyut tezlikni- v_1 aniqlab hamda $u_1 = \frac{\pi D_{1p} n}{60}$ ni hisobga olib, tezliklar parallelogramini qurish va w ni aniqlash mumkin (8.57, c-rasm) .

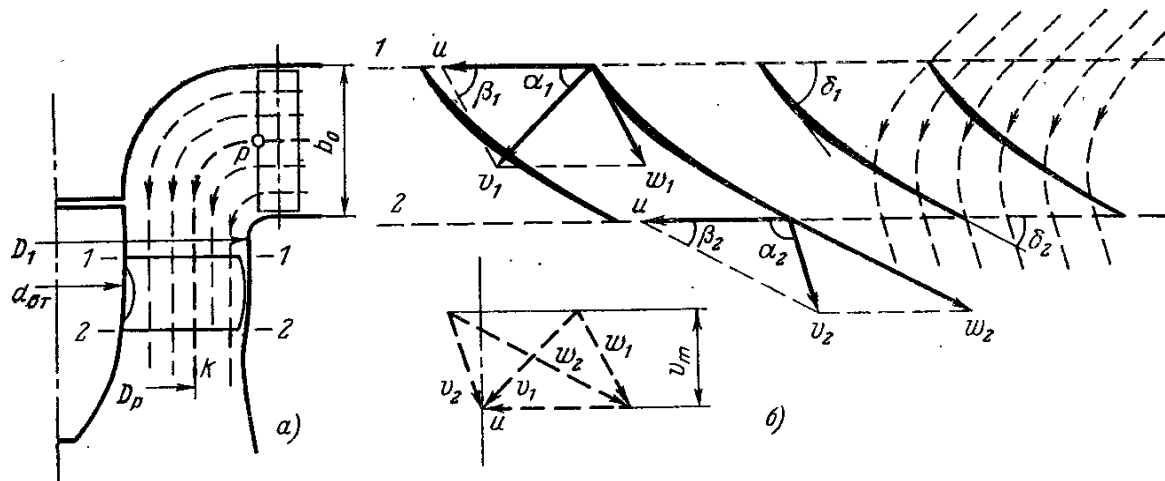
Kirishdagi tezlik parallelogramining shakli u_1 va v_1 , tezliklar orasidagi α_1 burchakka hamda i_1 va w_1 . tezliklar orasidagi β_1 burchakka bog'liqdir. Ba'zida parallelogram o'rniga tezlik uchburchaklarini qurishadi (punktir chiziqlar bilan ko'rsatilgan) . Ish g'ildiragining chiqish 2-kesimida:

$$u_2 = \frac{\pi D_{2p} n}{60} \text{ va } v_{2m} = \frac{Q}{F_2}$$

Bundan tashqari, ish g'ildiragi parraklarining panjarasi juda qalin bo'lganligi sababli nisbiy tezlik, parraklarga urinma bo'lib yo'nalgan, ya'ni $\beta_2 = \delta_2$ yoki

$\varpi_2 = \frac{v_{2n}}{\sin \delta_2}$ taxmin qilishimiz mumkin. 4.5 formulaga asosan u_2 va w_2 aniqlanadi bo'lgandan sung 8.57 ,c-rasmda ko'rsatilgandek parallelogram quriladi va

v_2 topiladi. Chiqish parallelogramining shakli, α_2 va β_2 burchaklar bilan aniqlanadi. Tezlik uchburchaklari punktir chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Tezlik uchburchaklarini faqatgina kirish va chiqish kesimlari uchungina emas balki, oraliq kesimlar uchun ham qurish mumkin. Ushbu uchburchaklar v_i tezlikka mos vektorlarni aniqlaydilar va ular bo'ylab ish g'ildiragidagi suyuqlikning absolyut harakati traektoriyalarini o'tkazish mumkin. Bunday traektoriyalar-ning ko'rinishi 8.57-rasmda keltirilgan. Quyidagi juda muhim xulosaga e'tibor berish kerak, absolyut harakat - v traektoriyasining shakli, tezlikning miqdoriga bog'liq emas, faqatgina uning yo'nalishi bilan aniqlanadi.



8.58-rasm. O'qiy turbinadagi oqim

O'qiy turbinalarda ish g'ildiragidagi oqimchalarning yuzasi silindrik sirtga yaqin (4.3-rasm), ya'ni hisob diametrini maydon bo'yicha o'rtacha hisoblash mumkin- $D_{lh}=D_{2h}=D_h$,

$$D_p = \sqrt{0,5(D_1^2 + d_{em}^2)}$$

Ish g'ildiragi silindrik kesimining yoyilgani 8.58, b-rasmda ko'rsatilgan.

Buning xususiyati shundaki, $u_1=u_2=u=\pi D_r n/60$ va $v_{1m}=v_{2m}=v_m=\frac{4Q}{\pi(D_1^2 - d_{em}^2)}$. Kirish

qirralaridagi-1 tezlik vektorlar yig'indisi sifatida aniqlanadi. Absolyut tezlik- v_2 bo'yicha quriladi. Natijada olingan parallelogramlar 8.58, b-rasmda ko'rsatilgan. Kirish va chiqish qirralaridagi tezlik uchburchaklari birga qo'shilgan (punktir chiziqlar bilan ko'rsatilgan), chunki ular bir xil asosga- v_m ega. Xuddi shu erning o'ng tomonida punktir chiziqlar bilan ish g'ildiragidagi suyuqlikning absolyut tezlik traektoriyalari ko'rsatilgan.

8.3.2. Turbinalarning asosiy energetik tenglamalari

Ish g'ildiragidagi oqimning kuch va energetik ko'rsatgichlarini aniqlash uchun harakat miqdori momenti qonuni qo'llaymiz. Umumiy holat sifatida 8.59-rasmda, meridian kesimi ko'rsatilgan radial-o'qiy turbinaning ish g'ildiragini ko'rib chiqamiz. Kirish qirralari-1 oldidan va chiqish qirralarining-2 ortidan o'tadigan chegaralovchi (nazorat) sirtlarni ajratamiz, xuddi shuningdek, ish g'ildiragining hamma parraklarini o'z ichiga oladigan yuqori va pastgi gardishlar hajmini ham ajratamiz.

Ajratilgan hajm ichida oʻrtacha barqaror oqim uchun $v_u r$ vaqt boʻyicha oʻzgarmaydi va shuning uchund ($v_u r$) , $v_{1u}r_1 - v_{2u}r_2$ larning farqiga teng. Ish gʻildiragidan dt vaqt orasida oqib oʻtadigan suyuqlikning massasi – $m = \rho Q dt$ ga teng.

Unda,

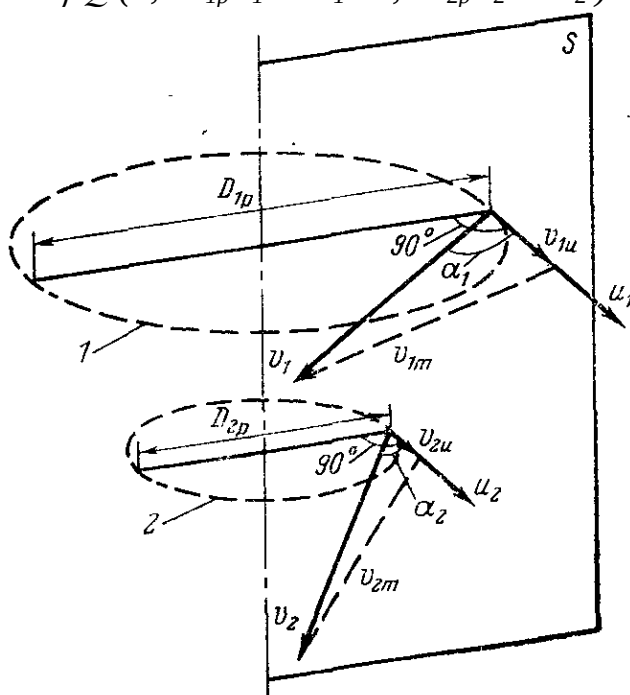
$$\frac{d(mv_u r)}{dt} = \rho Q (v_{2u}r_2 - v_{1u}r_1) = \sum M_0 \quad (8.25)$$

Aylanish oʻqiga nisbatan, ajratilgan suyuqlik hajmiga taʼsir qiluvchi tashqi kuchlar- $\sum M_0$ momentlarining yigʻindisi quyidagicha aniqlanadi.

Kuch bosimidan hosil boʻladigan moment, aylanish yuzalari-1 va 2 hamda gardishlar yuzasida nolga teng. Ogʻirlik kuchi ham moment bermaydi, chunki ular qoʻyiladigan markaz, oʻq bilan mos keladi. Faqatgina chegaralovchi sirtlarda ishqalanish kuchi va parraklarda bosim kuchi hamda suyuqlikning ishqalanish kuchi qoladi. Ikkala guruh kuchlar oʻqqa nisbatan moment beradi, lekin birinchisini kichik boʻlganligi sababli hisobga olmasa ham boʻladi. Faqatgina ish gʻildiragining parraklari tomonidan suyuqlikka taʼsir qiluvchi moment– M qoladi. Parraklarda suyuqlik bilan hosil qiladigan, axtarilayotgan moment– M ga teng boʻladi.

(8.24) ifodadan quyidagini olamiz –

$$I = \rho Q (0,5D_{1p}V_1\cos\alpha_1 - 0,5D_{2p}V_2\cos\alpha_2)$$



8.59-rasm. Ish gʻildiragi parraklari kirish va chiqish chetlaridagi tezliklar.

Yoki uni almashtirib - $\pi D_{1p} v_1 \cos \alpha_1 = \Gamma_1$ va $\pi D_{2p} v_2 \cos \alpha_2 = \Gamma_2$

Kirish va chiqishda oʻrtacha aylanishlar farqi orqali ifodalangan ish gʻildiragi momentini olamiz:

$$M = \frac{\rho Q}{2\pi} (\Gamma_1 - \Gamma_2)$$

Olingan shakldan koʻrinib turibdiki, qachon ish gʻildiragi oʻzining parraklari taʼsiri bilan oqimning aylanishini oʻzgartirsa ish gʻildiragida aylantiruvchi

moment hosil bo'ladi. Agar vosaaylanma tezlik-iyo'nalishiga mos kelsa G belgisi musbat qabul qilinadi.

Momentni aniqlab va ish g'ildiragiga aylanma tezlikni berib, ular oshirayotgan quvvatni aniqlash mumkin.

$$N_{p.k} = M\omega \quad (8.26)$$

Bu formulada M — v N-m da, ω - 1/s da, $N_{\delta.\hat{e}}$ — Vt da. Shu bilan birga ma'lumki, turbinaning quvvati (8.14) formula bilan ifodalanadi. Bu quyidagi tenglikni tuzish imkonini beradi.

$$M\omega = \rho g Q H \eta_r \quad (8.27)$$

bunda: N -turbinaning bosimi; η_A — gidravlik FIK

Bu formulaga 8.26 bo'yicha M ni qo'yib va aylanma tezliklar- $\omega 0,5D_{1p} = u_1$ va $\omega 0,5D_{2p} = u_2$ ekanligini hisobga olib, quyidagini olamiz:

$$H\eta_r = \frac{1}{g} (u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2) \quad (8.28)$$

yoki

$$H\eta_r = \frac{\omega}{g \cdot 2\pi} (\Gamma_1 - \Gamma_2) \quad (8.29)$$

(8.28) va 8.29) formulalar *turbinaning asosiy tenglamasini* yoki Eyler tenglamasini tashkil qiladi. Formulaning chap qismi- $H\eta_r$, ish g'ildiragi-ning parraklar tizimi orqali o'tgan, 1N og'irlikdagi suyuqlikdan ish g'ildiragi olgan energiyadir (joulda). O'ng qismi, ish g'ildiragiga oqimning kirishdagi va undan chiqishdagi kinematik parametrlarni o'z ichiga oladi. Shunday qilib *asosiy tenglama, turbinadagi energetik va kinematik parametrlar orasidagi bog'lanishlarni ko'rsatadi*. 3.20 shaklidagi Eyler tenglamasidan quyidagi muhim xulosalarni qilish mumkin

1. Chiqishdagi oqimning aylanishi- $G_2 = 0$ yoki juda kichik bo'lganda, ish rejimining eng maqbo'l FIK normal chiqish shartlariga yaqin bo'ladi.

2. Oqimning aylanishi, turbina ish g'ildiragidan suv o'tish jarayonida kamayishi lozim.

8.4. TURBINA ISHCHI REJIMLARI

8.4.1. Turbina ishchi rejimlarining o'xshashlik qonunlari

Turbina turi, uni suv oqib o'tuvchi qismining shakli (gemetriyasi) bilan aniqlanadi. Boshqa so'z bilan aytganda, *ushbu turdagi barcha turbinalar geometrik o'xshash suv oqib o'tuvchi qismga ega*. Qabul qilingan aniqlashga asosan, ikkita bir xil turdagi ammo har xil o'lchamdagi turbina quyidagi shartlarni qoniqtiradi:

- ulardagi barcha mos burchaklari bir-biriga teng,

$$\delta_{11} = \delta_{12}, \delta_{21} = \delta_{22}, \delta_{i1} = \delta_{i2}; \quad (8.30)$$

- barcha mos o'lchamlarning nisbati doimiy,

$$\frac{D_{11}}{D_{12}} = \frac{D_{21}}{D_{22}} = \frac{b_{01}}{b_{02}} = \dots; \quad (8.31)$$

Agar ikkita bir turdagi turbinaning suv oqib o'tadigan traktidagi har qanday nuqtada, tezlik parallelogramlari yoki uchburchaklarining geometrik o'xshashliklari saqlanib qolsa, ularning rejimlari o'xshash bo'ladi

Shuning uchun rejimlar o'xshash bo'lganda:

- barcha mos tezliklarning yo'nalishi bir xil bo'lishi shart, ya'ni barcha mos burchaklar bir-biriga teng,

$$\alpha_{11} = \alpha_{12}, \alpha_{21} = \alpha_{22}, \beta_{11} = \beta_{12} \dots \quad (8.32)$$

shuning uchun o'xshash rejimlar izogonal deb ataladi;

- barcha mos tezliklarning nisbati doimiy bo'lishi shart,

$$\frac{v_{11}}{v_{12}} = \frac{u_{11}}{u_{12}} = \frac{w_{11}}{w_{12}} = \frac{v_{21}}{v_{22}} = \dots \quad (8.33)$$

va $\cos \alpha_{11} = \cos \alpha_{12}, \cos \alpha_{21} = \cos \alpha_{22}$

Qonuniyatning keltirilgan ta'riflariga asosan, bir turdagi turbinalar parametrlari orasidagi nisbatni ularning o'xshash ish rejimlari sharoitida o'rnatamiz. Bir turdagi, ammo har xil D_1 va D_2 o'lchamdagi ikkita turbinani qarab chiqamiz. Yo'naltiruvchi moslama hamda ish g'ildiragi parraklarining ochiqlik burchaklari bir-biriga teng: $\alpha_{01} = \alpha_{02}$ i $\varphi_1 = \varphi_2$.

Ikkala turbinada ham ish rejimlari o'xshash bo'lishi uchun, ularning aylanishlar chastotalari n_1 va n_2 , suv sarflari – Q_1 va Q_2 hamda quvvatlari – N_1 va N_2 qanday bo'lishlarini o'rnatish zarur.

Eng avvalo, geometrik (8.30) , (8.31) va kinematik (8.32) , (8.33) nisbatlardan foydalanamiz. (8.33) ga asosan,

$$\frac{u_{11}}{u_{12}} = \frac{\pi D_1 n_1}{\pi D_2 n_2} = \frac{D_1 n_1}{D_2 n_2} \quad (8.34)$$

$$\frac{v_{1m1}}{v_{1m2}} = \frac{Q_1}{\pi D_1 b_{01}} \cdot \frac{\pi D_2 b_{02}}{Q_2} \quad (8.35)$$

Geometrik o'xshashlik shartlaridan $\frac{b_{01}}{b_{02}} = \frac{D_1}{D_2}$ ga ega bo'lamiz, keyin,

$$\frac{v_{1m1}}{v_{1m2}} = \frac{Q_1 D_2^2}{Q_2 D_1^2} \quad (8.36)$$

Shunday qilib, $\frac{u_{11}}{u_{12}} = \frac{v_{1m1}}{v_{1m2}}$, keyin

$$\frac{D_1 n_1}{D_2 n_2} = \frac{Q_1 D_2^2}{Q_2 D_1^2} \text{ yoki } \frac{Q_1}{n_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{n_2 D_2^3}$$

Ushbu natijalarni umumlashtirib, turbina ishlash rejimining kinematik o'xshashlik (saqlanishi) shartlarini yozamiz -

$$\boxed{\frac{Q}{n D^3} = const} \quad (8.37)$$

Bu turbinalar har xil N_1 va N_2 bosimlarda ishlayotganliklari va quyidagi η_{g1} va η_{g2} gidravlik FIK ga ega ekanligini hisobga olib, endi energetik nisbatdan foydalanamiz.

Har bir turbina uchun Eyler formulasini (8.37) shaklida yozamiz,

$$gH_1 \eta_{\Gamma 1} = u_{11} v_{11} \cos \alpha_{11} - u_{21} v_{21} \cos \alpha_{21} \quad (8.38)$$

$$gH_2 \eta_{\Gamma 2} = u_{12} v_{12} \cos \alpha_{12} - u_{22} v_{22} \cos \alpha_{22} \quad (8.39)$$

O'xshashlik shartlari va (8.39) formuladan kelib chiqadiki,

$$\alpha_{11} = \alpha_{12}, \alpha_{21} = \alpha_{22} \text{ va } \frac{u_{11}}{u_{12}} = \frac{v_{11}}{v_{12}} = \frac{u_{21}}{u_{22}} = \frac{v_{21}}{v_{22}} = \frac{D_1 n_1}{D_2 n_2}$$

yoki

$$\cos \alpha_{11} = \cos \alpha_{12} \text{ va } \cos \alpha_{21} = \cos \alpha_{22} \quad (8.40)$$

shuning uchun,

$$u_{12} = u_{11} \frac{D_2 n_2}{D_1 n_1}; u_{12} = v_{11} \frac{D_2 n_2}{D_1 n_1}; u_{22} = u_{21} \frac{D_2 n_2}{D_1 n_1}; u_{22} = v_{21} \frac{D_2 n_2}{D_1 n_1};$$

Olingan nisbatlarni (8.39) formulaning o'ng qismiga qo'yamiz

$$gH_2 \eta_{\tilde{A} 2} = \left(\frac{D_2 n_2}{D_1 n_1} \right)^2 (u_{11} v_{11} \cos \alpha_{11} - u_{21} v_{21} \cos \alpha_{21}) \quad (8.41)$$

(8.40) ni (8.41) ga bo'lib, quyidagi ifodani olamiz

$$\frac{H_1 \eta_{\Gamma 1}}{H_2 \eta_{\Gamma 2}} = \left(\frac{D_1 n_1}{D_2 n_2} \right)^2$$

bundan aylanish chastotalari orasidagi nisbat aniqlanadi -

$$\boxed{\frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \sqrt{\frac{\eta_{\Gamma 1}}{\eta_{\Gamma 2}}}} \quad (8.42)$$

Topilgan $\frac{n_1}{n_2}$ nisbatni kinematik o'xshashlik shartlariga (8.42) qo'yib,

$$\frac{Q_1}{n_1 D_1^3} = \frac{Q_2}{n_2 D_2^3}$$

suv sarflari nisbatini olamiz

$$\boxed{\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \sqrt{\frac{\eta_{\Gamma 1}}{\eta_{\Gamma 2}}}} \quad (8.43)$$

Quvvat uchun formulalarni qo'yib, quvvatlar nisbatini olamiz,

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \frac{H_1}{H_2} \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \sqrt{\frac{\eta_{\Gamma 1}}{\eta_{\Gamma 2}}} \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (8.44)$$

(8.42) va (8.43) xuddi shuningdek, (8.44) formulalar, o'xshashlik qonunlari (formulalari) deb ataladi hamda juda keng qo'llaniladi. Gidravlik FIK juda kam

o'zgarganligi sababli, soddalashtirish uchun $\frac{\eta_{\tilde{A}1}}{\eta_{\tilde{A}2}} = 1$ deb qabul qilingandan sung o'xshashlik formulalari quyidagi ko'rinishga keladilar.

$$\begin{aligned} \frac{n_1}{n_2} &= \frac{D_2}{D_1} \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \\ \frac{Q_1}{Q_2} &= \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \\ \frac{N_1}{N_2} &= \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \frac{H_1}{H_2} \sqrt{\frac{H_1}{H_2}} \frac{\eta_1}{\eta_2} \end{aligned}$$

8.4.2. Turbinaning keltirilgan parametrlari

O'xshashlik formulalari (5.12) - (5.15) ko'rsatadiki, turbinalar har xil o'lchamlarda ishlab chiqarilishi hamda bosimning, aylanish astotasining, suv sarfi va quvvatning juda keng oralig'ida ishlashlari mumkin. Shu sababli, ushbu turdagi turbinaning xarakteristikalari uchun qandaydir umumiy standartlar shartlarga mos keltirilgan ko'rsatgichlar kerak, masalan bosim va diametr bo'yicha. Turbinaning qayta hisoblangan ko'rsatgichlarini $N = 1 \text{ m}$ bosimga va $D = 1 \text{ m}$ diametriga berish qabul qilingan. Bu parametrlar *keltirilgan (birlamchi) parametrlar deb ataladi hamda keltirilgan aylanishlar chastotasi- n_1^1 va keltirilgan suv sarfi- Q_1^1 deb belgilanadi.*

FIK o'zgarishini hisobga olmasdan (8.43) va (8.44) qayta hisoblash formulalaridan foydalanib, turbinaning berilgan parametrlari n , H va D bo'yicha quyidagilarni olamiz:

$$\frac{n_1^1}{n} = \frac{D}{1} \sqrt{\frac{H}{1}}, \text{ bundan } n_1^1 = \frac{nD}{\sqrt{H}} \quad (8.45)$$

$$\frac{Q_1^1}{Q} = \left(\frac{1}{D} \right)^2 \sqrt{\frac{1}{H}}, \text{ bundan } Q_1^1 = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \quad (8.46)$$

Keltirilgan parametrlar- n_1^1 va Q_1^1 ning miqdorlari o'xshash rejimlarda o'zgarmasdan qoladi. Odatda ularni nusxa modellarda o'tkazilgan sinovlar-ning ko'rsatgichlari bo'yicha aniqlaydilar. Keltirilgan parametrlar bo'yicha naturadagi turbinaning parametrlarini hisoblaganda, aniq hisoblar bajarish uchun gidravlik FIK

$\frac{\eta_{\Gamma 1}}{\eta_{\Gamma 2}}$ nisbatlari ham hisobga olinadi. Ko'rsatilganlarni hisobga olib, berilgan

kattaliklar N va D uchun (8.45) va (8.46) formulalar bilan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$n = \frac{n_1^1 \sqrt{H}}{D} \sqrt{\frac{\eta_{\Gamma.T}}{\eta_{\Gamma.M}}}$$

$$Q = Q_1^1 D^2 \sqrt{H} \sqrt{\frac{\eta_{\Gamma.T}}{\eta_{\Gamma.M}}}$$

Keltirilgan (birlamchi) parametrlar turbinalar xarakteristikalari uchun juda keng faydalaniladi.

8.4.3. Tezyurarlik koeffitsienti

Tezyurarlik koeffitsienti - n_s , son jihatidan ushbu turdagi turbina-ning aylanish chastotasiga teng bo'lib u, $N = 1$ m bosimda 1 ot kuchi (1 ot kuchi = 0,736 kVt) miqdorida energiya ishlab chiqaradi.

Agar turbinaning aylanish chastotasi- n , bosimi- N va quvvati- N ma'lum bo'lsa, tezyurarlik koeffitsienti miqdorini topamiz. (4.2.1) ga asosan –

$$\frac{n_s}{n} = \frac{D}{D_s} \sqrt{\frac{1}{H}}$$

bunda: D_s — 1 ot kuchi quvvatga ena bo'lgan turbinaning diametri.

FIK o'zgarishini hisobga olmaganda (5.2.1') bo'yicha

$$\frac{1}{N_{J.C}} = \left(\frac{D}{D_s} \right)^2 \frac{1}{H} \sqrt{\frac{1}{H}}$$

Birinchi tenglamani kvadratga ko'taramiz

$$\left(\frac{n_s}{n} \right)^2 = \left(\frac{D}{D_s} \right)^2 \frac{1}{H}$$

va ikkinchi hamda uchinchi tenglamani ko'paytiramiz. Bu D_s ni chiqarib tashlash imkonini beradi. Keyin –

$$\left(\frac{n_s}{n} \right)^2 \frac{1}{N_{J.C}} = \frac{1}{H^2} \sqrt{\frac{1}{H}}$$

bundan tezyurarlik koeffitsientini aniqlash formulasini olamiz.

$$n_s = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{N_{J.C}}{\sqrt{H}}} \quad (8.47)$$

Agar quvvat kVt larda berilgan bo'lsa, ot kuchi- $N_{l.s} = 1,36 N_{kVt}$ ga teng.

Turbinaning tezyurarlik koeffitsienti – n_s hamda keltirilgan birlik parametrlari n_1^1 va Q_1^1 o'rtasidagi bog'lanishni topish mumkin.

FIK o'zgarishini hisobga olmay suv sarfini- Q_1^1 orqali ifoda qilib, (8.47) bo'yicha olamiz:

$$N = 9.81 Q_1^1 D^2 \sqrt{H} H \eta \quad (8.48)$$

Quvvatni-N (ot kuchida) va aylanish chastotasini (8.47) ga qo'yib (8.48) bo'yicha quyidagilarni olamiz:

$$n_s = \frac{n_1^1 \sqrt{H}}{DH} \sqrt{\frac{1.36 \cdot 9.81 Q_1^1 D^2 \sqrt{H H \eta}}{\sqrt{H}}} \quad (8.49)$$

bundan oxirgi natija

$$n_s = 3.65 n_1^1 \sqrt{Q_1^1 \eta} \quad (8.50)$$

Tezyurarlik koeffitsientini odatda maksimal quvvat rejimi uchun aniqlanadi. U turbinaning xususiyatlarini, ish g'ildiragi shaklini, ya'ni turbinaning turi va ko'rnishini to'liq xarakterlaydi. Har xil turdagi turbinalar uchun tezyurarlik koeffitsienti quyidagicha o'zgaradi: o'qiy parraklari buraladigan- $n_s=1000 \div 450$; diagonal parraklari buraladigan - $n_s=500 \div 250$; radial-o'qiy- $n_s=300 \div 80$; cho'michli- $n_s=50 \div 10$. Tezyurarlik koeffitsienti- n_s qancha kam bo'lsa, turbinalar sekin yuruvchi hisoblanadi va ularning bosimlar sohasi baland bo'ladi.

8.5. GIDRAVLIK TURBINALARNING XARAKTERISTIKALARI

8.5.1. Xarakteristikalarining turlari

Gidroelektrostansiyalarni loyihalash jarayonida, turbina turini tanlashda va uning asosiy parametrlarini, o'lchamlarini, aylanish chastotasi-ni, FIKni, turbinani o'rnatish sathi va boshqa faktorlarni aniqlashda, xuddi shuningdek, ekspluatatsiya qilish jarayonida jihozlardan foydalanish-ning eng maqsadga muvofiq shartlarini belgilash uchun, turbinaning xususiyatlari to'g'risida to'liq ma'lumotga ega bo'lish kerak. Bu ma'lumotlar, turbinaning barcha kerakli ko'rsatgichlarini aniqlovchi, uning har xil sharoitlarda ishlashini, aniqrog'i har xil rejimlari uchun xarakteristikalar shaklida taqdim etiladi. Turbinaning ish jarayoni, uning ishchi ko'rsatgichlarini quyidagi ikki xil omil bilan aniqlanishini ko'rsatib turibdi:

- *geometrik omil*, suv oqib o'tadigan qismining shakli (turbina turi) , o'lchamlari (D_1 diometr) va yo'naltiruvchi moslamani yoki ignaning ochilganligi-a (ikki marta tartibga solinadigan parraklari buraladigan turbinalar uchun) , bundan0 tashqari yana ish g'ildiragi parraklarini o'rnatish burchagini- ϕ qayd qilish;
- *kinematik*, turbinaning ish rejimini xarakterlovchi. Kinematik xarakteristikalar tarkibiga ikkita mustaqil o'zgaruvchilar, p va Q kiradi. Ish rejimlarini o'xshashlik shartlarini (5.1.1) bo'yicha ifodalab, quyidagini olamiz:

$$\frac{nD}{\sqrt{H \eta_r}} = const \quad (8.51)$$

Shunday qilib berilgan FIK va Q uchun rejimni aniqlovchi o'zgaruvchilar n va H bo'ladi. Turbinalar uchun odatda bosim o'rnatiladi, suv sarfi esa aniqlanadi.

Ushbu turdagi turbina ishining barcha ko'rsatgichlarini umumiy ko'rinishda quyidagi funksional nisbatlar bilan ifoda etish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} Q &= f_Q(D, a_0, H, n) \\ N &= f_N(D, a_0, H, n) \\ \eta &= f_\eta(D, a_0, H, n) \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \quad (8.52)$$

Parraklari buraladigan turbinalar uchun bu nisbatlar yanada murakkabroqdir, chunki ular qo‘shimcha mustaqil o‘zgaruvchi-ish g‘ildiragi parraklarini o‘rnatish burchagi – φ ni o‘z ichiga oladi.

$$\left. \begin{aligned} Q &= f_Q(D, a_0, \varphi, H, n) \\ N &= f_N(D, a_0, \varphi, H, n) \\ \eta &= f_\eta(D, a_0, \varphi, H, n) \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \quad (8.53)$$

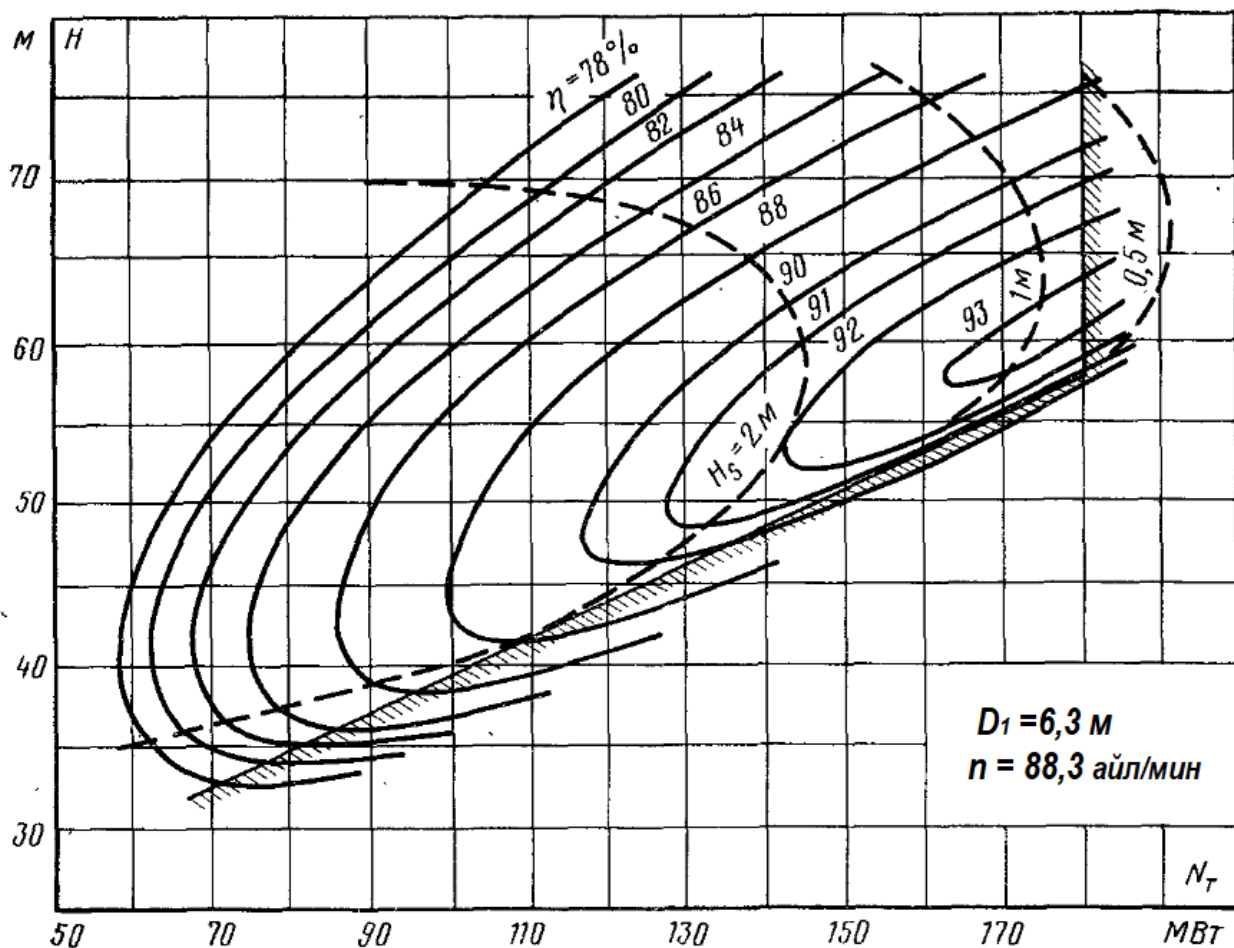
Aniq ifodalar (8.52) yoki (8.53) *turbinalarning xarakteristikalar* deb ataladi va ular odatda grafik shaklida taqdim etiladi. Xarakteristikalar tizimida (8.52) , o‘zgaruvchilarni mustaqil va funksiyalarga bo‘linishi shartli hisoblanadi va ularni har doim o‘rinlarini almashtirish mumkin. Masalan, ochiqliklik- a_0 o‘rniga mustaqil o‘zgaruvchi sifatida- Q bo‘lishi mumkin va unda quyidagiga ega bo‘lamiz: $N = f_N(D, Q, N, p)$, lekin keyin ochilganlik ham $a_0 = f_a(D, Q, N, p)$ funksiya bo‘lib qoladi. *Mustaqil o‘zgaruvchilarning soni juda aniq: bir marta tartibga solinuvchi turbinalar (radial-o‘qiy, propellerli, cho‘michli) uchun ular to‘rttadir, ikki marta tartibga solinuvchi turbinalar (parraklari buraladigan) uchun ular besh donadan iboratdir.*

To‘rt mustaqil o‘zgaruvchilar funksiyasini grafik ko‘rinishda qurish mumkin emas. Shu sababli, mustaqil o‘zgaruvchilarni bir qismining, doimiy parametrlar bilan almashtirilgan xarakteristikalar quriladi. Xarakteristikalarning ikki shaklidan foydalaniladi: *universal va chiziqli.*

Universal xarakteristikalar ikkita aniqlovchi parametrlardan tashkil topib, ushbu ko‘rsatgichni ikkita mustaqil o‘zgaruvchiga bog‘lik ekanligini ko‘rsatadi. Universal xarakteristikalarning bir necha turlari mavjud bo‘lib, ularga nom o‘zgaruvchilar bo‘yicha beriladi. Masalan, *bosim-quvvat universal xarakteristikasi*, berilgan D va n (parametrlar) da N , N koordinatlarida quriladi (bosim, turbinaning quvvati) . Uni ko‘pincha ekspluatatsiya qilish xarakteristikasi deb atashadi, chunki normal ekspluatatsiya sharoitida turbinaning aylanish chastotasi qat’ian doimiy ushlab turiladi. **Bosim-quvvat xarakteristikasi** quyidagicha ifoda etilishi mumkin.

$$\left. \begin{aligned} \eta &= f_\eta(H, N) \\ H_s &= f_{H_s}(N, H) \end{aligned} \right\} D_1 = \text{const bo‘lganda, } n = \text{const}$$

Shunday xarakteristikalaridan biri, $D_1 = 6,3$ m va $p = 88,3$ ayl./min bo‘lgan radial-o‘qiy turbina uchun 8.60-rasmda ko‘rsatilgan. Xarakteristikalar maydonida FIK- η va ruxsat etilgan so‘rib ketish balandligi- N_s izochiziqlari o‘tkazilgan. Shunday qilib, har qanday ishlash sharoiti uchun ushbu ko‘rsatgichlarning miqdorini aniqlash mumkin. Masalan, pri $N = 60$ m va $N = 150$ MVt bo‘lganda $\eta = 91,5\%$ va $H_s = 1,8$ m ga teng.



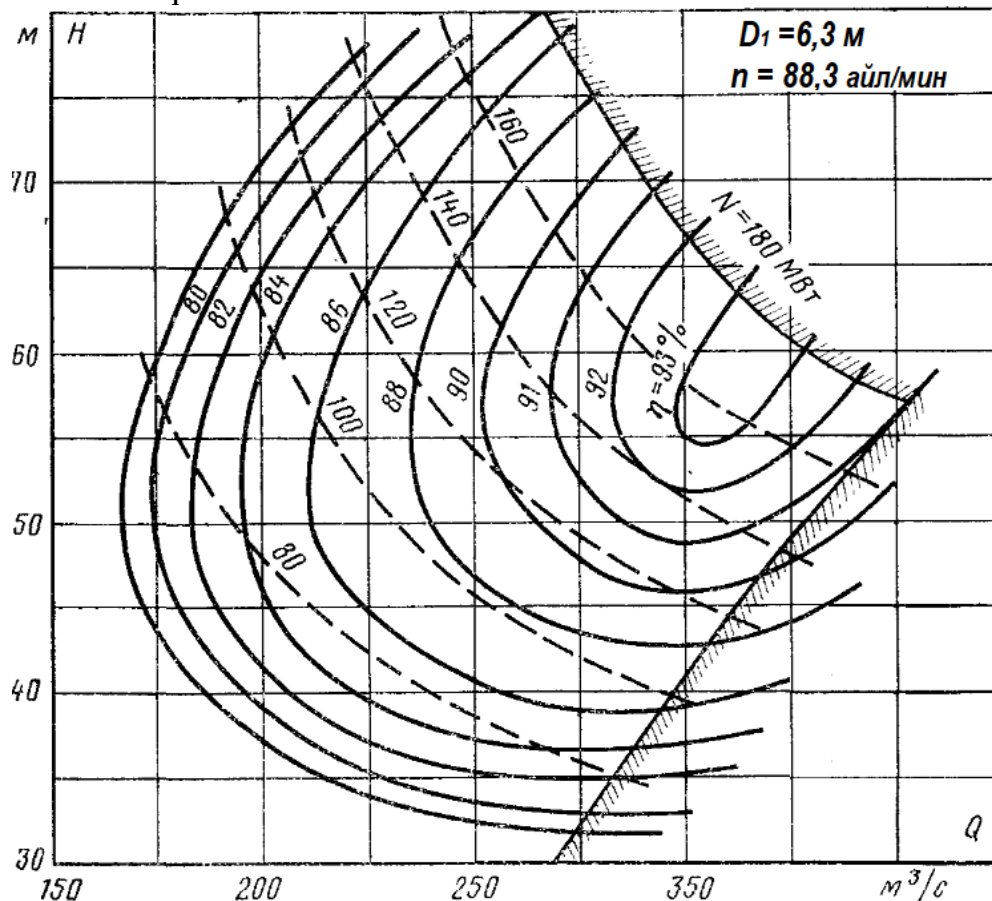
8.60-rasm. Radial-o'qiy turbinaning bosim-quvvat universal xarakteristikasi

Bosim-suv sarfi xarakteristikasi $D_1 = \text{const}$ va $p = \text{const}$ (8.60-rasm) bo'lganda quriladi. bunda FIK- η va quvvatning- N izochiziqlari berilgan. Xarakteristikalarda chegaralovchi chiziqlar ko'rsatilgan (shtrix chiziqlar bilan). Pastgi chiziqlar yo'naltiruvchi moslamaning masimal ochilganligiga, yuqoridagilari esa gegeratorning nominal quvvatiga mos keladi.

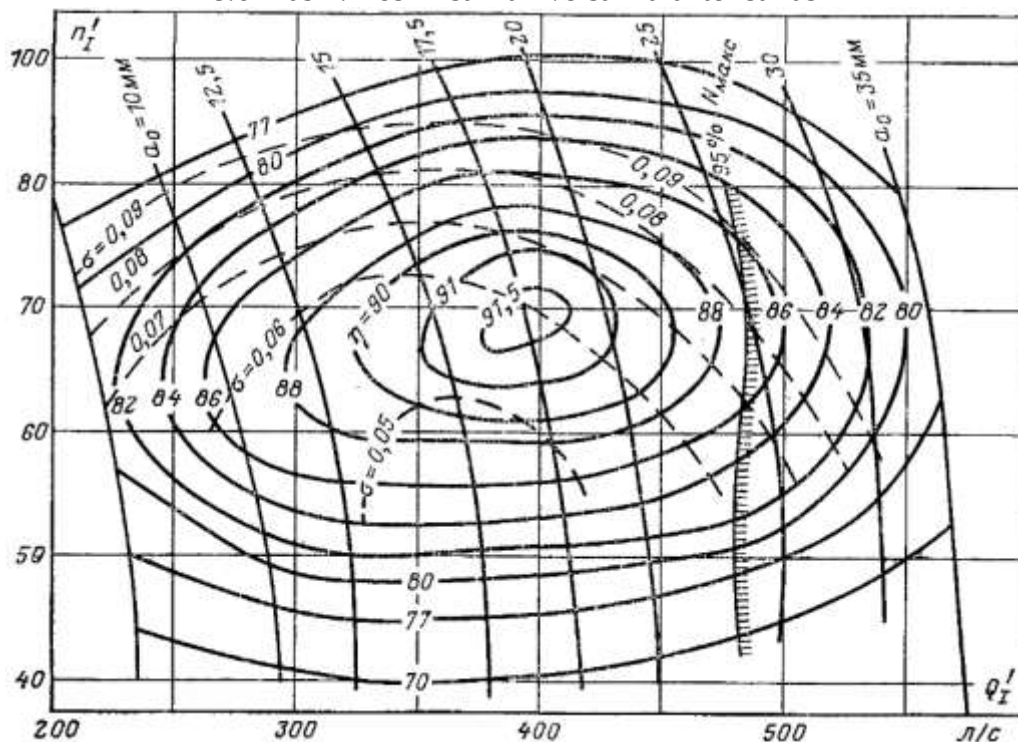
Bosh universal xarakteristika. Ma'lum turdagi turbinaning xususiyat-lari ko'rsatgichi sifatida, D_1 va N larning doimiy miqdorlarida quriladigan aylanma-suv sarfi xarakteristikasidan keng foydalaniladi. Modomiki, bu xarakteristika odatda ushbu turdagi turbinaning umumiy xususiyatlarini aniqlar ekan, uni keltirilgan parametrlarda $D_1 = 1 \text{ m}$ va $N = 1 \text{ m}$ bo'lgan holat uchun qurishadi. Uni radial-o'qiy turbina uchun ko'rinishi 8.62-rasmda ko'rsatilgan. O'qlar bo'ylab o'zgaruvchilar Q_1^1 va n_1^1 qo'yilgan. Xarakteristikalariga gidravlik FIKning- η , kavitatsiya koeffitsientining- σ hamda yo'naltiruvchi moslamaning ochilganligi- a_0 izochiziqlari o'tkazilgan.

Bosh universal harakteristika nusxalarni sinash ma'lumotlari asosida quriladi va unda ko'rsatilgan barcha miqdorlar (η , σ , a_0 va boshqalar) nusxa uchun berilgan. Shu sababli, xarakteristikada doimo modelning o'lchamlari (diametri) ko'rsatiladi hamda turbina kamerasi va so'rib ketish quvuri bilan birgalikdagi uning gabarit chizmalari keltiriladi. Xarakteristikaning muhim nuqtasi, FIKning absolyut masimumiga to'g'ri keladigan uning optimal rejimi hisoblanadi. Bosh universal xarakteristikada tez-tez yana, 5 foizli (95% N_{maks}) zahira quvvati chizig'i

ko'rsatiladi. Bu chiziqning o'ngrog'ida quvvatni faqatgina 5 % ga ko'paytirish mumkin va odatda bu sohaga kirish tavsiya qilinmaydi. Bosh universal xarakteristika ushbu turdagi turbinaning xususiyatlarini to'liq yoritadi va qayta hisoblash formulalaridan foydalanib, barcha talab qilingan ko'rsatgichlarni aniqlash mumkin hamda u bo'ylab berilgan ushbu turdagi turbina uchun har qanday boshqa xarakteristikalarini qurish mumkin.



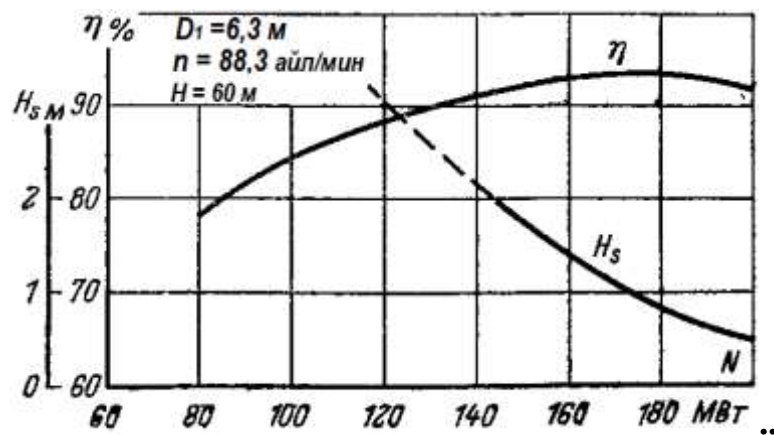
8.61-rasm. Bosim-sarf universal xarakteristikasi



8.62-rasm. Radial-o'qiy turbinaning bosh universal xarakteristikasi.

Chiziqli xarakteristikalar bir o'zgaruvchiga nisbatan quriladi va shu bo'yicha o'z nomini olgan. Bunday holda, uchta parametr doimiy deb qabul qilinadi. Masalan, *chiziqli quvvat* xarakteristikasi turbina ko'rsatgichlarini uning quvvati bilan bog'liqligini ko'rsatadi: $D_1 = \text{const}$, $n = \text{const}$, $H = \text{const}$ bo'lganda $\eta = f_\eta(N)$.

Shunday xarakteristika 8.63-rasmda ko'rsatilgan. Ushbu chiziqli xarakteristika $N = 60$ m bo'lganda, 8.60-rasmda ko'rsatilgan universal bosim-quvvat xarakteristikasi kesimini o'zida aks ettiradi.



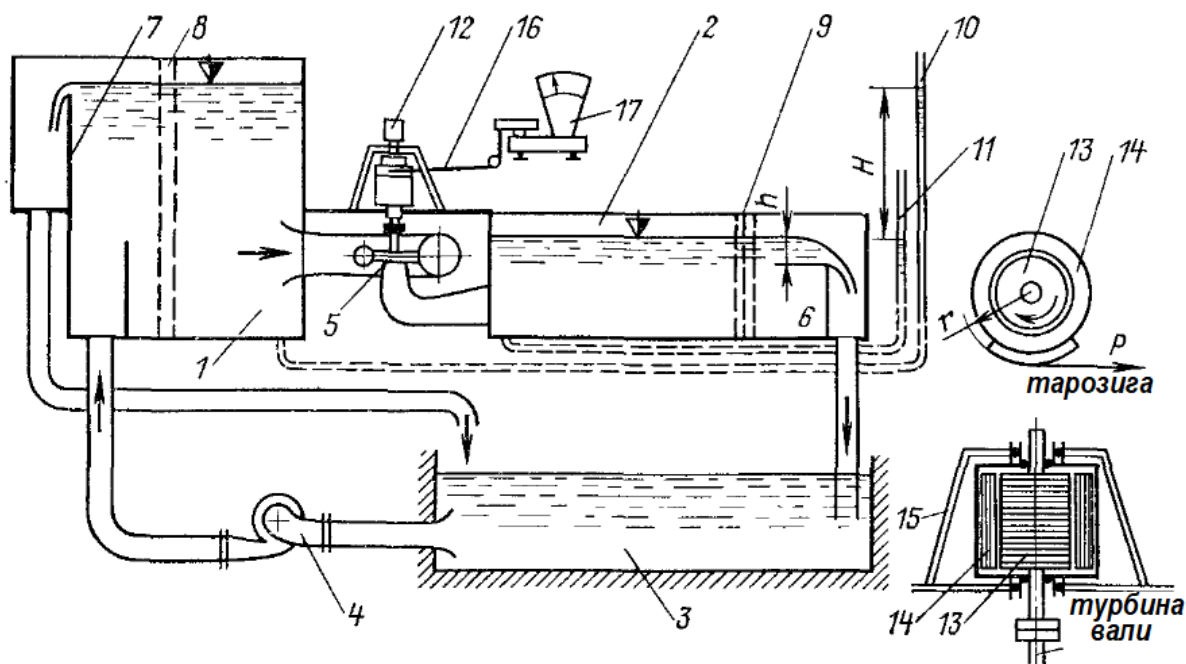
8.63-rasm.Chiziqli quvvat xarakteristikasi.

Chiziqli xarakteristikalarining boshqa turlari:

- aylanma - $D = \text{const}$, $a_0 = \text{const}$, $H = \text{const}$ bo'lganda, $N = f_N(n)$;
- bosimli - $D = \text{const}$, $a_0 = \text{const}$, $n = \text{const}$ bo'lganda, $N = f_N(H)$.

Har qanday chiziqli xarakteristika, universal xarakteristikaning ba'zi kesimlarini aks ettiradi. Chiziqli xarakteristika universal xarakteristikalardek, turbinaning xususiyatlarini to'liq aks ettirmaydi, ammo ular sodda va aniq. Shuning uchun ulardan, har xil turdagi va ko'rinishdagi boshqa turbinalarining xususiyatlari bilan solishtirishda tez-tez foydalaniladi. Turbinalarining gidromexanik hisobi usullari to'xtovsiz takomillash-tirilayotganligiga qaramasdan, ularning keng diapazondagi ish rejimini yorituvchi zarur va to'liq hamda ishonchli xarakteristikalarini faqatgina eksperimental yo'l bilan olish mumkin. Turbinalarni loyihalashda hisob yo'li bilan odatda, suv oqib o'tuvchi trakt shaklining bir necha varianti ko'rib chiqiladi, ammo ularning yakuniy baholash, tajriba stendlarida o'tkazilgan nusxalarni sinash ma'lumotlariga asosan ishlab chiqiladi. Ushbu sinovlar natijasida (nusxaning) xarakteristikalar beriladi va ular bo'yicha natura sharoiti uchun ekspluatatsiya qilish va boshqa xarakteristikalar quriladi.

Ikki turdagi stendlar mavjud: **energetik**, ularda kavitatsiyasiz ishlash sharoitida turbina ishinining hamma ko'rsatgichlari aniqlanadi hamda **kavitatsion** - kavitatsion ko'rsatgichlarni aniqlash uchun foydalaniladi. Energetik stendlar diametrlari 250 dan 460 (800) mm gacha bo'lgan turbina nusxalarini, kavitatsion stendlarda esa diametri - 250÷460 mm bo'lgan turbina nusxalari sinab ko'riladi.



8.64-rasm. Energetik sinovlar uchun tayyorlangan stendning sxemasi.

Energetik stend (8.64-rasm) yuqori-1 va pastgi-2 beflardagi baklardan, suv sigʻimidan-3 va nasosdan-4 tashkil topgan.

Baklar oʻrtasiga turbina nusxasi-5 montaj qilingan. Bundan tashqari, turbina spiral kamerasi va soʻrib ketish quvurining geometrik oʻxshashligini saqlab turish tavsiya qilinadi. Nusxa turbina ishlab turganda, suv birinchi bakdan-1 turbinaga-5 va turbinadan-5 ikkinchi bakka-2 oqib oʻtadi. Ikkinchi bakdagi suv tushirgichda-6 suv sarfi oʻlchanadi. Qoidaga asosan suv oʻlchagich hajmiy yoki ogʻirlik usulida kalibrovkalanishi kerak. Suv tushirgichdan oʻtgan suv keyingi idishga-3 tashlanadi va idishdan-3 nasos-4 yordamida yuqoridagi bakka-1 koʻtarib beriladi. Shunday qilib, tizimda suvning aylanishi amalga oshiriladi. Yuqoridagi bakda-1 suv sathini doimiy ushlab turish maqsadida bakda-1 suv tushirgich oʻrnatilgan, nasosdan uzatilayotgan ortiqcha suv ushbu suv tushirgich orqali pastdagi idishga-3 tashlab yuboriladi. Suv oqimini tinchlantirish va tekislash uchun 8 va 9 panjaralar xizmat qiladi. Energetik stendlardagi bosim odatda $2 \div 6$ m ni tashkil qiladi. Stendda oʻtkazilgan sinovlarda quyidagi asosiy kattaliklar oʻlchanadi: suv tushirgichdagi suvning balandligiga- h asosan suv sarfi- Q ; 10 va 11 pezometrlarning koʻrsatgichlari orqali aniqlanadigan bosim- N (spiral kameraga kirguncha boʻlgan masofadagi gidravlik yoʻqotishlar qoʻshimcha hisoblanishi mumkin); aylanish chastotasi (elektrotaxeometr yoki hisoblagich bilan aniqlanadi) va turbina ishlab chiqarayotgan quvvat- N_B . Ishlab chiqarilgan quvvatni- N_B oʻlchash koʻproq qiyinchilik tugʻdiradi. Ushbu maqsad uchun har xil tormozlar tizimi, koʻp holatlarda elektr tormozlari qoʻllaniladi. Tormozning-15 rotori nusxa turbinaning vali bilan ulanadi, stator-14 esa ramadagi podshipniklarga mahkamlanadi. Rotor aylanganda oʻzaro taʼsir qiluvchi magnit kuchlari (mexanik tormozlarda ishqalanish kuchi) yordamida statorni ham oʻzi bilan birga aylantira boshlaydi, ammo u ogʻirlikka-17 chiqarib ulangan sim-16 orqali ushlab turiladi. Simni tortilish kuchi- R va radius- r ni hisobga olib, turbina hosil qiladigan moment- $Mv=R$ aniqlanadi, aylanish chastotasi boʻyicha esa quvvat- N_B (kVt) topiladi:

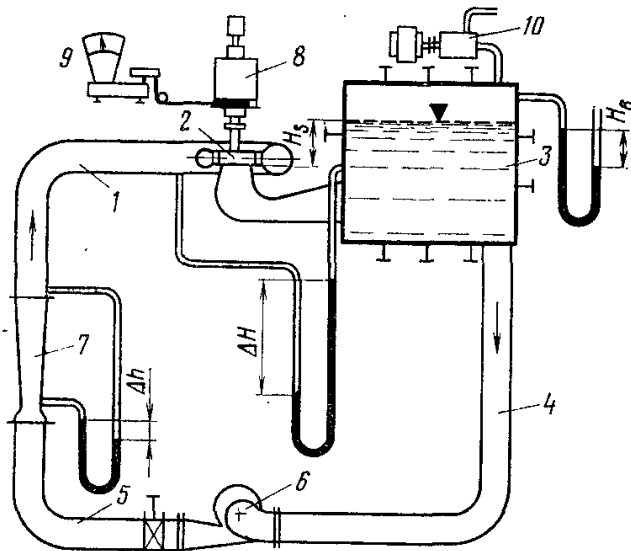
$$N_B = \frac{M \cdot n}{9550} \quad (8.54)$$

Nusxaning foydali harakat koeffitsienti, eksperimental ma'lumotlar bo'yicha hisoblanadi

$$\eta_M = \frac{N_B}{9.81QH} \quad (8.55)$$

Sinovlar quyidagicha o'tkaziladi. Yo'naltiruvchi moslamaning ochilganligi o'rnatiladi va tormoz yordamida o'zgartiriladigan har xil aylanishlar chastotasida bir necha nuqtalar olinadi.

O'lchangan miqdorlar bo'yicha (8.54) va (8.55) formulalar yordamida keltirilgan parametrlar n_1^1 va Q_1^1 hisoblanadi va har xil ochilganlik- a_0 uchun $\eta_m = f_\eta(n_1^1, Q_1^1)$ miqdorlarning jadvali tuziladi. Bu miqdorlar bo'yicha Bosh universal xarakteristika quriladi. Energetik sinovlarda FIK, suv sarfi va quvvatdan tashqari aylanish chastotasining tezlashishi, ish g'ildiragidagi o'qiy kuchlanishlar, ish g'ildiragi parraklaridagi va yo'naltiruvchi moslama parraklaridagi kuchlanishlar va boshqa miqdorlar o'lchanadi.



8.65-rasm. Kavitatsion stend

Kavitatsiya stendi - olib keluvchi quvur-1, turbina nusxasi-2, qisman suvga to'ldirilgan pastgi befning yopiq baki-3, aylantiruvchi quvurlar-4 va 5 hamda nasosdan-6 tashkil topgan. Stend yopiq bo'lib, pastgi befndagi sathni ushlab turish uchun o'zgarmas suv hajmida ishlaydi.

Sinovlar vaqtida quyidagi o'lchash ishari olib boriladi: Venturi suv o'lchagichi yordamida suv sarfi- Q (differensial monometrlardagi sathlar farqi bo'yicha- Δh), bosimi- N (sathlar farqi - ΔN va quvurda-1 tezlik hosil qilgan bosimlar yig'indisiga teng), quvvat- N_B (tormoz-8

va yuklar-9 yordamida), bakdagi-3 erkin yuza ustidagi (vakuummetr). Zarur bo'lgan vakuum miqdori, maxsus vakuum nasos-10 bilan hosil qilinadi. Sinovlar davrida nasosda-6 kavitatsiya hosil bo'lmasligi uchun u, bakdan-3 10÷15 sm pastga o'rnatiladi. Stend ishlab turganda suvning isishi kuzatiladi, ayniqsa uzatilayotgan suv nasos yonidagi zadviyka bilan boshqarilganda suvning qizishi jadallashadi. Suvning temperaturasini bir xil miqdorda ushlab turish uchun sovituvchi burama quvurlardan foydalaniladi, ba'zibir holatlarda vodoprovod tizimidan bakka-3 toza suv uzatiladi va bir vaqtning o'zida bosim liniyasidan-5 isigan suv tashlab yuboriladi. Qoidaga asosan, bosimi 20÷30 m bo'lgan kavitatsiya stendlaridan foydalaniladi, biroq ishonchliroq ma'lumotlar olish uchun ayniqsa yuqori bosimli turbinalar uchun 150-200 m va undan yuqori bosimlarda tajriba o'tkazish mumkin bo'lgan stendlar yaratilgan.

Sinovlar o'tkazish tartibi quyidagicha. Qandaydir ishchi rejimi o'rnatiladi (yo'naltiruvchi moslamalarning ochilganligi- a_0 , bosim- N va aylanishlar chastotasi-

n) va sungra qurilmaning kavitatsiya koeffitsientini- σ_u kamaytirish uchun, bosqichma-bosqich bakdagi-3 vakuumni ko'paytirib suv sarfi- Q , quvvat- N , FIK- η aniqlanadi. O'tkazilgan sinovlar bo'yicha olingan ma'lumotlar grafik shakliga olib kelinadi va undan kavitatsiya koeffitsientining- σ_{kritik} miqdori topiladi. Shunday qilib, ko'p ish rejimlari uchun kavitatsiya koeffitsientiningkritik miqdori aniqlanadi va ular izochiziqlar shaklida Bosh universal xarakteristikaga o'tkaziladi.

8.5.2. Parametrlarni nusxadan dala sharoitiga qayta hisoblash

Keltirilgan xarakteristikalar n_1^1 va Q_1^1 bo'yicha qurilgan Bosh universal xarakteristika, ushbu turdagi turbinaning xususiyati hisoblanib, nusxa turbinaning xarakteristikalari hisoblanadi. Hidroelektrostansiya-larni loyihalashda, turbinani tanlash uchun zarur bo'lgan haqiqiy (natura) xarakteristikalar Bosh universal xarakteristikadagi xarakteristikalarni qayta hisoblash orqali olinadi. Qayta hisoblash natijasida olingan xarakteristikalarning yuqori ishonchliligi va aniqligini ta'minlash uchun avvalambor nusxa va haqiqiy turbinalarnig suv oqib o'tadigan barcha elementlarning geometrik o'xshashligini qat'iy ta'minlash kerak. Turbinaning suv oqib o'tadigan qismini aniqlovchi o'lchamlari, nusxa turbina diametrining- D_N asl turbina diametriga- D_A nisbati shaklida qayta hisoblanadi. Shu maqsadda doimo, Bosh universal xarakteristikalarda nusxa turbinaning suv oqib o'tadigan qismining asosiy o'lchamlari ko'rsatiladi.

Nusxa bo'yicha turbinaning ochilganligi- a_0 quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$a_{OT} = a_0 \frac{D_r}{D_M} \quad (8.56)$$

O'xshash rejimlar uchun ushbu shartlar bo'yicha aylanishlar chastotasi- p va suv sarfini- Q qayta hisoblash (8.54) va (8.55) , turbinaningquvvati- N esa (8.56) formula bo'yicha hisoblanadi. Biroq ba'zibir ko'rsatgichlar haqiqiy turbinalar sharoitiga o'tkazilganda o'zgarishini hisobga olish zarur, o'zgarishning eng katta miqdori FIK ga taaluqli bo'ladi. Shu munosabat bilan turbinalardagi yo'qotishlar strukturasi va ularni nusxadan haqiqiy turbinaga o'tishdagi o'zgarishlarni qarab chiqamiz

Turbinadagi yo'qotishlar va balans xarakteristikalari. Turbinada isrof bo'ladigan barcha energiyalarni uch turdagi isrofgarchiliklarning yig'indisi sifatida ko'rsatish mumkin: **gidravlik, mexanik va hajmiy.**

Gidravlik yo'qotishlar, turbinadan suv sarfining oqib o'tishi hisobiga hosil bo'ladi. Ushbu yo'qotishlarni ikkiga bo'lish mumkin:

- suyuqlikni devorlarga ishqalanishi natijasida hosil bo'ladigan yo'qotishlar-**hishq.** (suv o'tkazuvchi quvurlarning uzunligi bo'yicha isrof bo'ladigan bosimga o'xshash) ;

- girdobli yo'qotishlar (mahalliy yo'qotishlarga o'xshash) .

Girdobli yo'qotishlar tarkibiga parraklarning panjarasiga kirishdagi, ish g'ildiragidan chiqishdagi va chiqishdagi yo'qotishlar kiradi.

Mexanik yo'qotishlar turbinaning ish g'ildiragi va valining aylanishi bilan bog'liq ishqalanishlar natijasida hosil bo'ladi. Bu turdagi yo'qotishlarga podshipnik va zichlagichlardagi- $N_{ishq.}$ yo'qotishlar, aylanadigan qismlarni suyuqlik bilan

ishqalanishi natijasida hosil bo'ladigan *diskdagi* masalan, ish g'ildiragining gardishi va korpus (qapqoq) orasidagi tirqishlardagi yo'qotishlar kiradi. Diskli ishqalanishlarda yo'qotiladigan quvvat- N_{disk} quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$N_{\text{диск}} = Pn^3 D^5 \quad (8.57)$$

bunda: $R - n$ va D ga bog'liq koeffitsient.

Hajmiy yo'qotishlarni ish g'ildiragini chetlab o'tib, yuqori bosim sohasidan past bosim sohasiga oqib o'tadigan turbinadagi ichki suv oqimlari keltirib chiqaradi. Hajmiy yo'qotishlarni kamaytirish uchun radial-o'qiy turbinalarda tirqishli va labirintli zichlagichlar qo'llaniladi, o'qiy va diagonal turbinalarda, parraklar va ish g'ildiragi kamerasi orasidagi oraliq kamaytiriladi. Har bir turdagi quvvat yo'qotishlarini bosim isrofi shaklida ko'rsatish mumkin. Masalan, agar gidravlik yo'qotishlarda isrof bo'ladigan quvvatni- $N_g = 9,81Qh_g$ shaklida yozsak, unda

$$h_r = \frac{N_r}{9.81Q} \quad (8.58)$$

bunda: Q – turbinaga uzatilayotgan to'liq suv sarfi.

Xuddi shu taxlitda mexanik yo'qotishlar- h_{mex} va boshqalarni topish mumkin. Nisbiy yo'qotishlarni turbina bosimiga- N olingan nisbati, ko'rsatishga qulayroqdir. Masalan, $1-h_g = hg/H$ dan gidravlik FIK -

$$h_r = 1 - \frac{h_r}{H} \quad (8.58)$$

Xuddi shuningdek, gidravlik yo'qotishlarni ham alohida tashkil qiluvchilarga bo'lish mumkin: suv uzatuvchi trakt va ish g'ildiragida- $h_{t.ish\ g'il.}$; so'rib ketuvchi quvurdagi yo'qotishlar- $h_{s.quv.}$; chiqishdagi yo'qotishlar- $h_{chiq.}$, ya'ni

$$h_g = h_{t.ish\ g'il.} + h_{s.quv.} + h_{chiq.} \quad (8.59)$$

Shunga o'xshash mexanik yo'qotishlar quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$h_{mex} = \frac{N_{mex}}{9.81Q} \quad (8.60)$$

bunda: N_{mex} - mexanik yo'qotishlarga sarf bo'ladigan quvvat;
 Q - turbinaning suv sarfi.

Hajmiy yo'qotishlar quyidagi ifoda bilan aniqlanadi.

$$N_{x.y.k.} = 9,81q_{x.y.} H = 9,81Qh_{x.y.} \quad (8.61)$$

bunda: $N_{h.y.q.}$ = hajmiy yo'qotishlarga mos quvvat;

$q_{h.y.}$ - hajmiy yo'qotish (oqib o'tish sarfi) ;

N – turbinaning bosimi.

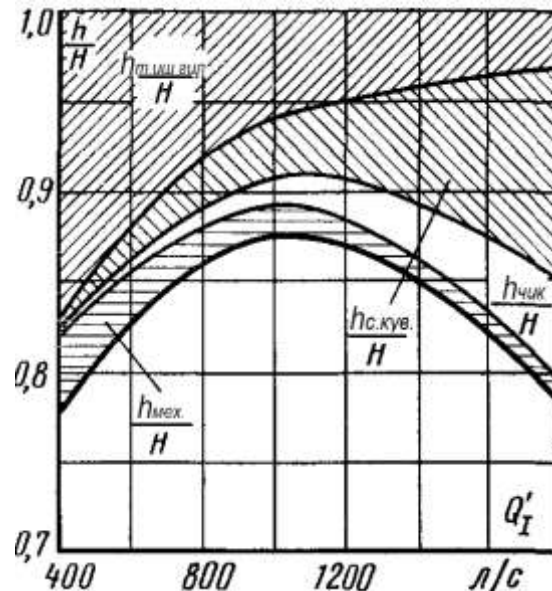
Bundan olamiz:

$$h_{x.y.} = \frac{q_{x.y.}}{Q} H \quad (8.62)$$

Yuqoridigalardan kelib chiqqan holda FIKni quyidagi ifoda bilan aniqlash mumkin

$$\eta = 1 - \frac{1}{H} (h_{t.ish\ g.} + h_{s.quv.} + h_{chiq.} + h_{mex} + h_{x.y.}) \quad (8.63)$$

Har xil rejimlar uchun turbinadagi yo‘qotishlarning o‘zgarishi va tarkibi to‘g‘risidagi to‘liqroq tasavvorni *balans xarakteristikasi* beradi. Misol tariqasida 8.67-rasmda parraklari buraladigan turbina nusxasining balans xarakteristikasi ko‘rsatilgan ($n_1^I = 130$ ayl/min, 8.68-rasmda). Undan ko‘rinib turibdiki, mexanik yo‘qotishlar nisbatan ko‘p emas, 0,02 atrofida va ish rejimiga juda ham kam bog‘liq. Asosiy yo‘qotishlar gidravlik yo‘qotishlar hisoblanadi, (bu erga hajmiy yo‘qotishlar ham kiradi, chunki ularni ajratishni imkoni yo‘q), ammo ularning nisbati turlari sezilarli darajada rejimga bog‘liq



8.67-rasm. Parraklari buraladigan turbinaning balans xarakteristikasi

Gidravlik FIKni nusxadan natura (asl) sharoitiga qayta hisoblash.
Turbinadagi barcha gidravlik yo‘qotishlarni quyidagi shaklda tasavvur qilamiz,

$$h_r = \zeta_T \frac{v^2}{2g}$$

bundan tashqari, yo‘qotish koeffitsienti- ξ tegishli bo‘lgan tezlik- v , traktning har qanday kesimida bo‘lishi mumkin. Turbinadagi oqim nihoyatda murakkab va hozirgacha ulardagi gidravlik yo‘qotishlarning shakllanishi to‘g‘risida to‘liq tasavvur yo‘q. Shuning uchun ba’zibir soddalashtirishlarni kiritishga to‘g‘ri keladi. Yo‘qotishlar koeffitsientini ikki qismdan iborat deb qabul qilish mumkin:

$$\zeta_Y = \zeta_{mahal.} + \zeta_{ishq.}$$

bunda: $\zeta_{mahal.}$ - joydagi qarshilik koeffitsientiga o‘xshash, yo‘qotish koeffitsienti;
 $\zeta_{ishq.}$ - «uzunligi bo‘yicha» oqib o‘tiladigan yuzalarni ishqalanishga ketadigan yo‘qotishlar.

Nusxadagi ishqalanish bo‘yicha yo‘qotishlarni, umumiy gidravlik yo‘qotishlarning bir qismi deb faraz qilamiz:

$$h_{ishq.nus.} = \sum h_{gid.yo'q.nus.}$$

Agar nusxaning gidravlik FIK $h_{g.nus.}$ bo‘lsa, unda nisbiy yo‘qotishlar quyidagilarni tashkil qiladi:

a) mahalliy (girdobli) –

$$\frac{h_{mahal.nus.}}{H} = (1 - \varepsilon) \frac{h_{gid.yo'q.nus.}}{H} = (1 - \varepsilon)(1 - h_{gid.yo'q.nus.})$$

b) ishqalanishga –

$$\frac{h_{\text{махалнус.}}}{H} = \varepsilon \frac{h_{\text{гид.йўк.нус.}}}{H} = \varepsilon(1 - h_{\text{гид.йўк.нус.}})$$

Nusxa va natura (asl) ning kinematik koeffitsientlari teng bo'lganda - $v_{\text{nus.}} = v_{\text{nat.}}$, nusxadan naturaga gidravlik FIKni (aniqrog'i, yo'qotishlarni) qayta hisoblash formulasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$1 - \eta_{\Gamma} = (1 - \eta_{\Gamma.H}) \left[1 - \varepsilon + \varepsilon^5 \sqrt{\frac{D_H}{D}} \sqrt{\frac{H_H}{H}} \right] \quad (8.64)$$

yoki nusxadan naturaga gidravlik FIKga tuzatishlar quyidagini tashkil qiladi-

$$\Delta \eta_{\Gamma} = \eta_{\Gamma} - \eta_{\Gamma.H},$$

$$\Delta \eta_{\Gamma} = (1 - \eta_{\Gamma.H}) \varepsilon \left(1 - \sqrt{\frac{D_H}{D}} \sqrt{\frac{H_H}{H}} \right) \quad (8.65)$$

Shuni nazarda tutish lozimki, (8.64) va (8.65) formulalar bir qator farazlar asosida olingan, shuning uchun ulardan foydalanganda tajriba ma'lumotlarini hisobga olish zarur:

a) ishchi rejim zonasida parraklari buraladigan turbinalar uchun - $\varepsilon = 0,75$; radial-o'qiy turbinalar uchun

$$Q_1^1 \leq Q_{100\text{II}}^1 \text{ bo'lganda, } \varepsilon = 0,25 + 0,5 \frac{Q_1^1}{Q_{100\text{II}}^1}$$

$$Q_1^1 \geq Q_{100\text{II}}^1 \text{ bo'lganda } \varepsilon = 0,75$$

b) dastlabki hisoblar uchun $\varepsilon = 0,75$ bo'lganda, $\Delta \eta_G$ miqdorini saqlagan holda barcha rejimlar uchun $\Delta \eta_G$ ni faqat optimal rejim uchun aniqlash mumkin:

$$\eta_{\Gamma} = \eta_{\Gamma.H} + \Delta \eta_{\Gamma}.$$

v) naturadagi cho'michli turbina uchun FIK qayta hisoblanmaydi, nusxada qandaybo'lsa shunday qabul qilinadi.

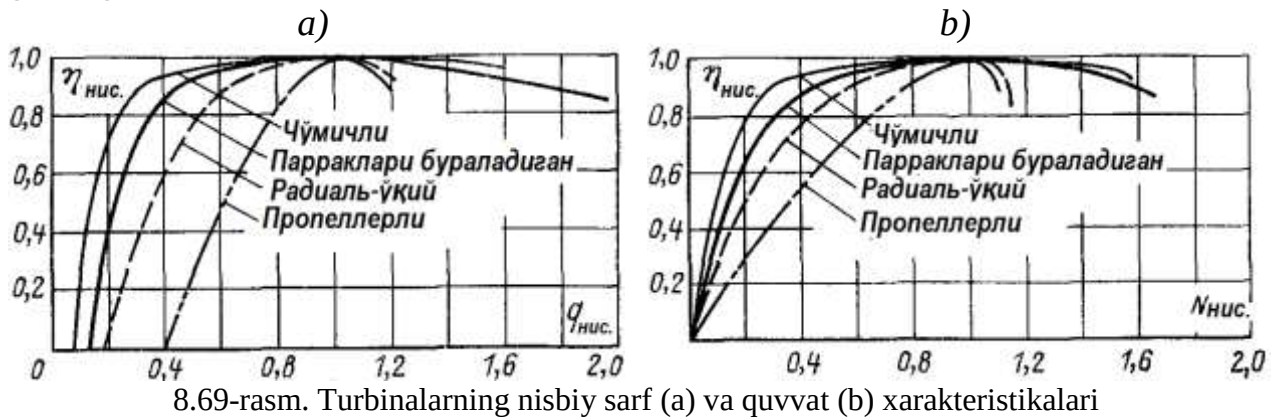
8.5.3. Turbinalarni xarakteristikalari bo'yicha solishtirish

Gidroelektrostansiyalardagi turbinalarning ishlash sharoiti doimiy ravishda saqlanmaydi. Suvning oqib kelishi va energotizimning yuklamasiga nisbatan quvvat keng diapazonda o'zgaradi. Suv omborining to'ldirilishiga, pastgi befning sathiga va suv o'tkazuvchi quvurlardagi yo'qotishlarga nisbatan ba'zan bosim sezilarli darajada o'zgaradi. Shu munosabat bilan ushbu o'zgarishlar, har xil turdagi va ko'rinishdagi turbinalarning ishlashiga qanday ta'sir ko'rsatishini bilish juda muhimdir.

Nisbiy ko'rsatgichlar. Har xil turdagi turbinalarning xususiyatlarini solishtirish uchun o'lchov birligisiz koordinatalarda quriladigan nisbiy xarakteristikalardan foydalanish juda qulaydir. Shu bilan birga odatda, asos sifatida FIK kattaroq yana qandaydir rejim tanlanadi va barcha miqdorlar shu asosga nisbatan aniqlanadilar (0 indeksi bilan) :

$$\eta_{\text{нус.}} = \frac{\eta}{\eta_0}; \quad q_{\text{нус.}} = \frac{Q}{Q_0}; \quad N_{\text{нус.}} = \frac{N}{N_0};$$

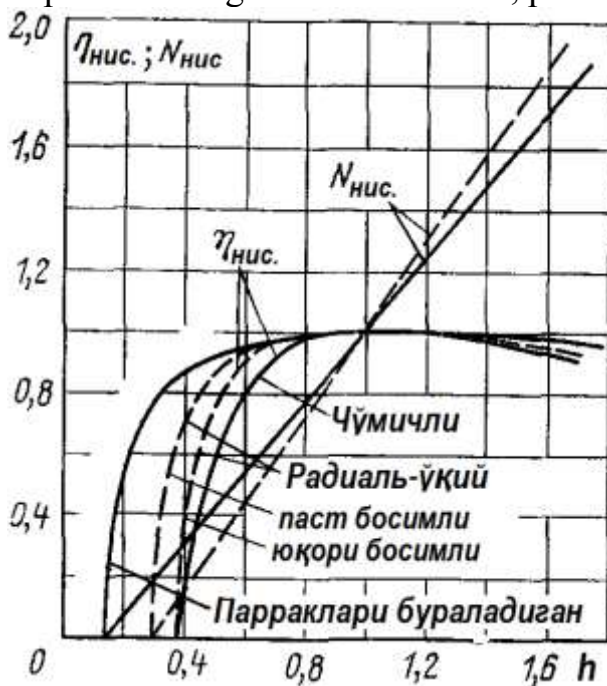
Bunday sharoitda, har xil turbinalarning har qanday xarakteristikalari 1,1 koordinataga ega bo'lgan umumiy nuqtadan o'tadi, ya'ni birlashtiriladi. Bu esa ularning xususiyatlari to'g'risida aniq tasavvurga ega bo'lish imkonini beradi. 8.69-rasmda nisbiy sarf va quvvat xarakteristikalari berilgan. 8.70-rasmdan ko'rinib turibdiki, eng yaxshi ko'rsatgichlarga parraklari buraladigan va cho'michli turbinalar ega ekan. Agar FIK miqdorini 10 % gacha pasaytirib ishchi diapazonni chegaralab qo'ysak, unda bu turbinalarda sarf- q_{nis} . 0,3÷0,45 dan 1,8÷2,0 gacha va quvvat- N_{nis} . 0,25 dan 1,6 gacha o'zgarib turadi. η_{nis} . = 0 bo'lganda q_{nis} . o'qi bilan kesishgan nuqtasi salt yurish sarfini- $q_{s.yur.}$ beradi va u $q_{s.yur.}$ = 0,07 ÷ 0,12 (7—12%) ga teng bo'ladi.



8.69-rasm. Turbinalarning nisbiy sarf (a) va quvvat (b) xarakteristikalari

Yomon ko'rsatgichlarni radial-o'qiy turbinalar beradi, ulardagi yuklama o'zgartirilganda, ya'ni yuklama optimumdan ham yuqori ko'tarilsa FIK juda tez pasayib ketadi va salt yurish sarfi- $q_{s.yur.}$ 0,15—0,2 ni tashkil qiladi. Ushbu turbinalarda ish diapazoni ancha kichik va quvvat- N_{nis} . bo'yicha 0,5—0,6 dan 1,05—1,10 gachani tashkil qiladi.

Turbinalarning belgilangan xususiyatlari katta amaliy ahamiyatga ega. Haqiqatdan ham agar GESning ishlash shartlariga ko'ra turbinaning quvvati keng diapazonda o'zgarishi shart bo'lsa, parraklari buraladigan turbinalarni o'rnatish



8.70-rasm. Turbinalarning nisbiy

afzalroq (o'qiy yoki diagonal), chunki ular bu sharoitlarda radial-o'qiy turbinalarga qaraganda FIKni oz kamaytiradi, natijada GES ishlab chiqaradigan energiyani ko'payishiga olib keladi. Bu bilan, parraklari buraladigan turbinalarni balandroq bosimlarda o'rnatishga harakat qilinadi. Xuddi shu vaqtning o'zida, agar oz o'zgaradigan yuklamada ishlash imkoni bo'lsa, oddiyroq radial-o'qiy hattoki propellerli turbinalarni ham o'rnatish maqsadga muvofiq bo'ladi. Turbinaning ishla-shiga bosim o'zgarishi ta'sirini, zgarimas aylanish chastotasi uchun qurilgan nisbiy bosim xarakteristikalari bo'yicha kuzatish mumkin (8.70-rasm).

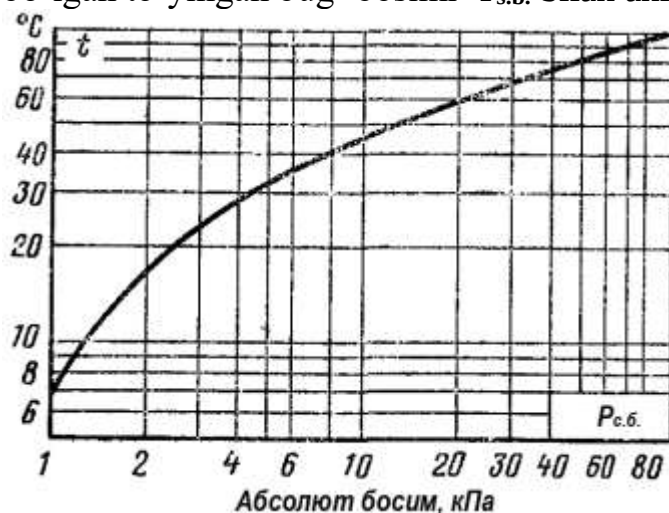
bosim xarakteristikasi.

Absissa o'qi bo'yicha nisbiy bosim $h=H/H_0$, miqdorlari qo'yilgan, bunda H_0 – berilgan sharoitlarda maksimal FIK ga mos bosim. Bu xarakteristikalar, bosimni hisob bosimidan juda yuqoriga ko'tarilishi bilan hamma turbinalarda FIK ozgina kamayishini, ammo bosimni kamayib borishi ayniqsa, ma'lum chegaraga etganda FIK juda tez nolgacha kamayib ketishini ko'rsatadi. Eng yaxshi ko'rsatgichlar parraklari buraladigan turbinalarga taaluqlidir.

8.6. GIDROTURBINALARDA KAVITATSIYA

8.6.1. Kavitatsiya hodisasi

So'rib ketish quvuri bilan ishlaydigan turbinalar ish sharoitini ko'rib chiqish, ularning ish g'ildiragi ostida past bosim hosil bo'lishini ko'rsatdi. Bundan tashqari, ish g'ildiragi parraklarini oqib o'tishda ularning orqa tomonida qo'shimcha bosimni kamayishi kuzatiladi. Shunday qilib, gidromashi-nalarning suv oqib o'tadigan ba'zi qismlarida bosim juda ham past bo'lishi mumkin (kuchli vakuum). Bu sharoitlar o'zining xususiyatlarigak ega va ular **kavitatsiyaga** olib kelishi mumkin. Past bosimda suyuqliklarning harakatini aniqlovchi asosiy omillardan biri, suyuqlikni uzilishga mustahkamligi hisoblanadi. Shunday qilib sinov ma'lumotlari ko'ra, qattiq va gazsimon aralashmalarsiz toza suv 0,2—0,3 MPa (2—3 kgs/sm²) cho'zilishga, ayrim sharoitlarda esa 10—25 MPa (100—250 kgs/sm²) cho'zilishga bardosh beradi. Suvning uzilishga nazariy mustahkamligi yanada kattaroqdir. Biroq oddiy suvning uzilishga mustahkamligi miqdori, suyuqlik haroritiga bog'liq bo'lgan to'yingan bug' bosimi- $r_{s.b.}$ bilan aniqlanadi (8.71-rasm.)

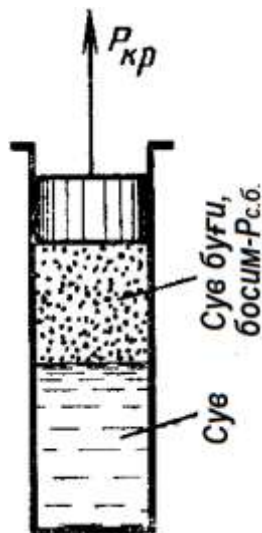


8.71-rasm. To'yingan suv bug'i bosimining temperaturaga bog'liqligi

Suv manbalaridagi suvda hattoki vodoprovoddagi suvda ham ko'p miqdorda juda kichik, qattiq va gazsimon aralashmalar mavjud bo'lib ular kuchsiz nuqta-yadrolarni ifodalaydi. Yadrolarni hosil bo'lishi, suvda erigan havoni hosil bo'lishiga sharoit yaratadi.

Suyuqlik bosimi, to'yingan bug' bosimidan pastga tushib ketganda yadro chegarasida suyuqlik, jadal gazsimon-bug' (qaynash) holatga o'ta boshlaydi va uzluksizlikda mahalliy

uzilish-ichi asosan suv bug'i bilan to'lgan kavak-kaverna hosil bo'ladi. Bo'shliq hosil bo'lgandan sung, suyuqlikda bosimni kamayishi kuzatilmaydi, chunki uning o'rni bo'shliq hajmining tez kattalashuvi bilan to'ldiriladi. Bosim ko'tarilishi bilan bo'shlik yopiladi va bug' bir lahzada kondensatsiyalanadi. 8.71-rasmdan ko'rinib turibdiki, 100°S haroratda to'yingan suv bug'i bosimi atmosfera bosimiga teng va bu qaynash nuqtasini aniqlaydi. Dengiz sathidan 2200 m balanddagi sathda atmosfera bosimi 80 kPa ga teng va suv 93°S qaynaydi Agar atmosfera bosimini 2 kPa gacha pasaytirsak, suv 20°S haroratda ham qaynashi mumkin.



8.72-rasm. Suv uzluksizligining statik uzilishi.

Suvni uzilish shartini tajribada tekshirib ko'ramiz. Porshenli silindrni suvga to'ldiramizki, porshen ostidagi bo'shliqda birorta ham havo po'fakchalari hosil bo'lmasligi kerak (8.72-rasm). Porshenni yuqoriga R kuch bilan tortamiz. Avvalo u qarshilik ko'rsatadi va uni ma'lum darajada siljishi yuz bermaydi. Ammo R kuchi kritik kuchdan - $R_{kr} = F(r_{atm} - R_{s.b.})$ oshib ketsa (bunda r_{atm} - atmosfera bosimi, F - porshen yuzasining maydoni), porshen ko'tarila boshlaydi, porshen bilan suyuqlik orasida asosan suv bug'i bilan to'lgan $R_{s.b}$ bosimli bo'shliq hosil bo'ladi (ris. , b). Bu holatda bo'shliq bor ekan, porshen necha marta ko'tarilib tushishiga qaramasdan bosim uning ostida o'zgarishsiz qoladi va suv bug'i bosimiga - $R_{s.b}$ teng bo'ladi. Bu suyuqlik o'zluksizligining statik uzilishidir.

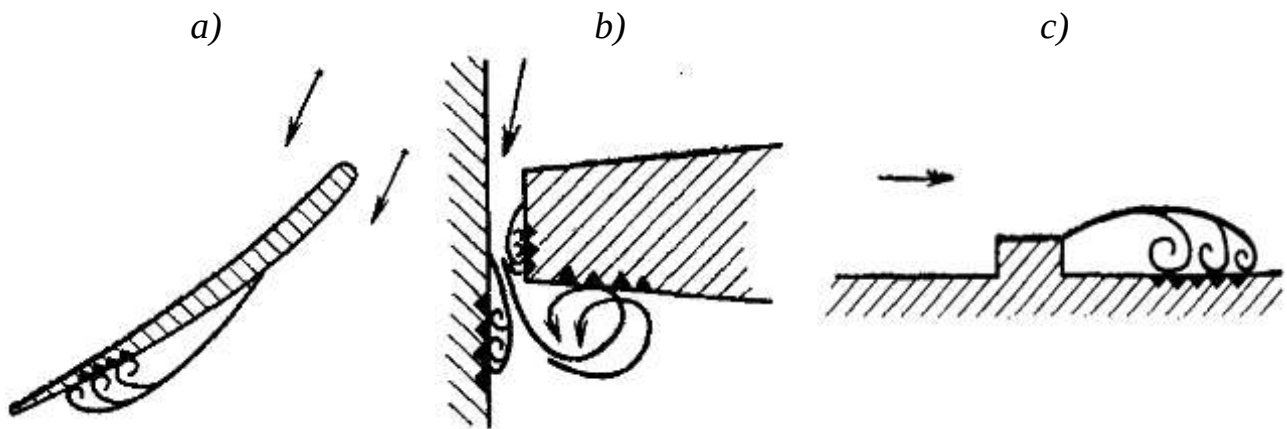
Agar oqimda kichik bosimli sohalar bo'lsa, unda bo'shliqlar hosil bo'lishi mumkin va bu sohadan olib o'tiladigan butun davr mobaynida saqlanib qolishi mumkin. Bunday bo'shliqlarning hayoti ikki davrdan iborat bo'ladi: hosil bo'lishi va o'sishi-asosan bu davr bosim tushib ketadigan (vakuum oshib boradigan) va bosim ko'tarilishi bilan bo'shliqlarni yopilishi kuzatiladigan sohadir.

Ushbu sharoitlarda bo'shliqlar katta o'lchamlarga ega bo'lishi mumkin va ular yopilgan nuqtada (markazda) g'oyat katta solishtirma bosim hosil bo'ladi. *Turbo'lent oqimda suyuqlik uzluksizligi uzulishining hosil bo'lishi – bo'shliq kavitatsiya nomi bilan ataladi.*

Kavitatsiya gidromashinalarga quyidagicha ta'sir qiladi.

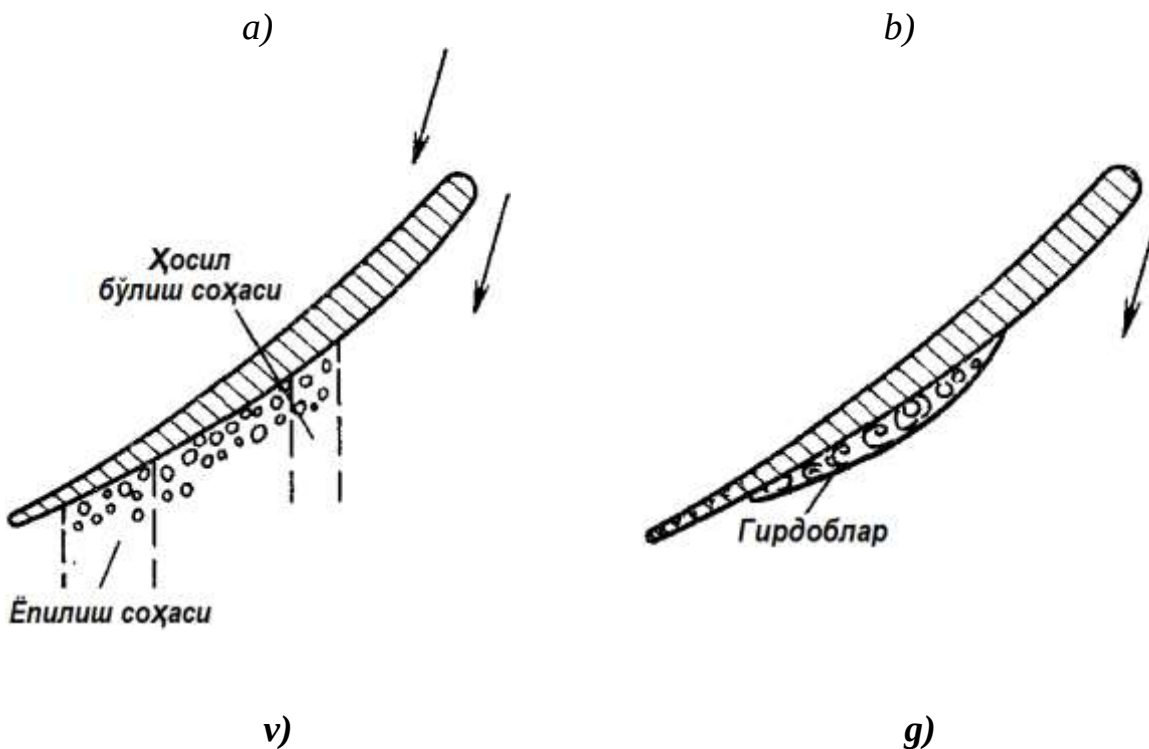
1. Etarli darajada rivojlangan kavitatsiyada, FIKni tushib ketishiga va suv sarfini kamayishiga olib keluvchi gidravlik yo'qotishlar oshib boradi.
2. Gidromashinada kavitatsiya hosil bo'lganda xarakterli kuchli shovqin hosil bo'ldadi va kuchli vibratsiya yuzaga keladi.
3. Kavitatsiya sharoitida ishlayotgan gidromashinalarning bo'shliqlar yopilgan nuqtalarida ancha tez yuzalar emiriladi.

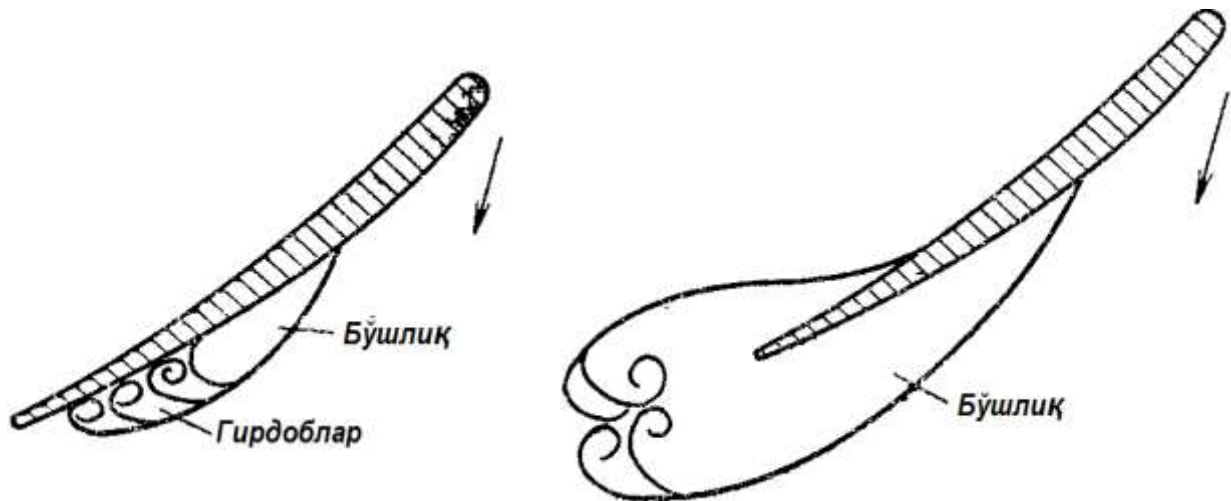
Kavitatsion emirilish (eroziya) asosan, kavitatsiyani hosil qiluvchi oqimni mikrogidravlik zarblar shaklida ta'sir qiluvchi mexanik ta'siri ostida, oqib o'tadigan yoki uning yaqinidagi yuzada bo'shliqlarni yopilishidan hosil bo'ladi. Ta'sir qiluvchi kuchlarning o'ziga xos xususiyati shundaki, bu zarblarning chastotasi juda yuqori. Bunday holda metallarda charchash hodisasi namoyon bo'ladi. Emirilish uvalanish, ayrim kristallarni urib chiqarish shaklida davom etadi va tekis metall yuza o'rnida unqir-chunqir yuza hosil bo'ladi. Emirilishning jadalligi ba'zan juda yuqori bo'lib, bir yilda 10-40 mm gacha etishi mumkin. Bu holat, gidromashinalarni ekspluatatsiyasi qilish xarajatlarini ko'payishiga, tez-tez ta'mirlash ishlarini olib borilishiga, ishchi qismlarni almashtirilishiga olib keladi. Xuddi shuningdek, parraklarni va boshqa suv oqib o'tadigan qismlarni buzulishi, FIKni qo'shimcha kamayishiga olib keladi. Kavitatsiya jarayonida ko'rib chiqilgan mexanik ta'sirlardan tashqari ximiyaviy va elektr hodisalar ham yuz beradi. Ushbu qo'shimcha omillarning roli hali to'liq o'rganilmagan, shuhbasiz ular kavitatsiya eroziyasi intensivligining oshishiga ma'lum darajada hissa qo'shadi.



8.73-rasm. Hidromashinalardagi kavitatsiya turlari

8.74-rasmda ko'rsatilgan: *a-kavitatsiyaning po'fakchali shakli*, bu shakldi uzluksizlikning uzilishi, alohida harakatlanayotgan po'fakchalar-bo'shlik shaklida yuz beradi; *b-zonal yoki pardali* oqimdagi pulsatsiyalanadigan girdoblar bilan to'lgan, uzluksiz borligi bilan xarakterlanadi; *v-yulib-yirtib olinadigan*, kavernada suyuqlik bilan to'ldirilmagan bo'shliq bo'lganda; *g-superkavitatsiya*, bu turda bo'shliq shunchalik rivojlanganki, u parraklar profilidan tashqarda yopiladi. Ushbu shakllarning har biri o'ziga xos xususiyatlarga ega. Kavitatsiyaning po'fakchali va zonal shakli, intensiv ravishda akustik (shovqin) va erozion ta'sir etish orqali o'zini ko'rsatadi, ammo nisbatan oqimning gidrodinamik xarakteristikalariga kam ta'sir ko'rsatadi. Shuning bilan bir qatorda, yulib-yirtib oladigan va bundan ham ko'proq superkavitatsiya, gidromashinalarning suv sarfi, quvvati va FIK ga ta'sir qiladigan oqimning gidrodinamik ko'rsatgichlarini sezilarli darajada o'zgartiradi.





8.74-rasm. Parraklardagi kavitatsiyaning bosqichlari.

Gidroturbinalarning kavitatsiyasiz ishlash sharti (kavitatsiyaning jarayoning bo‘lmasligi sharti) :

$$R_{ai} > R_{s.b.}$$

ya’ni, turbinaning oqim oqib o‘tadigan har qanday nuqtasidagi absolyut bosim, suyuqlikning bug‘ bilan to‘yingan bosimidan katta bo‘lishi kerak.

8.6.2. Kavitatsiya koeffitsienti. mumkin bo‘lgan so‘rib ketish balandligi

Kavitatsiyani (8.74) shaklida bo‘lmaslik sharti umumiy hisoblanadi, ammo undan foydalanish uchun, turbinaning suv oqib o‘tadigan traktidagi barcha nuqtalarda bosimni qanday taqsimlanganligini bilish shart. Bunday ma’lumotlar qoidaga asosan yo‘qligi sababli, nisbiy ko‘rsatgichlardan foydalaniladi. Ish g‘ildiragining ba’zi nuqtasidagi (8.75-rasm) absolyut bosimni quyidagi nisbatda ko‘rsatish mumkin

$$R_{as} > R_{a2} - \Delta R_{2-s}$$

bunda: R_{a2} – 2-2 kesimdagi absolyut bosim;

ΔR_{2-s} – 2-2 kesimga nisbatan nuqtadagi bosimni qo‘shimcha pasayishi.

So‘rib ketish quvuridagi yo‘qotishlar quyidagiga teng: $h_{c.ky\theta.} = \zeta_{c.ky\theta.} \frac{v^2}{2g}$

Unda

$$\frac{p_{a2}}{\rho g} = \frac{p_{atm}}{\rho g} - H_s - \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_5 v_5^2}{2g} - \zeta_{c.ky\theta.} \frac{v^2}{2g} \right) \quad (8.66)$$

$\left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_5 v_5^2}{2g} - \zeta_{c.ky\theta.} \frac{v^2}{2g} \right)$ - ifoda so‘rib ketish quvuri hosil qiladigan bosimni

o‘rtacha kamayishi.

$$\left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_5 v_5^2}{2g} - \zeta_{c.ky\theta.} \frac{v^2}{2g} \right) = \Delta h_{o\text{u}n} = \sigma_{c.ky\theta.} H \quad (8.67)$$

Buni hisobga olish bilan

$$\frac{p_{a2}}{\rho g} = \frac{p_{am}}{\rho g} - H_s - \sigma_{c.ky6.} H \quad (8.68)$$

Yoki s nuqtasi uchun:

$$\frac{p_{ac}}{\rho g} = \frac{p_{am}}{\rho g} - H_s - \sigma_c H \quad (8.69)$$

Shunday qilib, turbinada kavitatsiyani bo'lmashligi uchun so'rib ketish balandligini- H_s chegaralash lozim.

Dengiz sathiga nisbatan absolyut bosim atmosfera bosimiga bog'liq va u taxminan quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\frac{p_{am}}{\rho g} = 10,3 - \frac{\nabla}{900} \quad (8.70)$$

bunda: Δ -absolyut sath (pastgi bef minimal sathi uchun hisoblanadi) . Sovuq suv

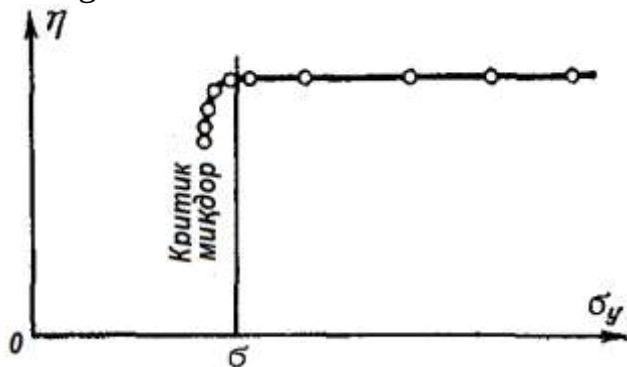
uchun $\frac{p_{c.6.}}{\rho g} = 0,3M$ qabul qilish mumkin. Unda formula (8.70) quyidagi

ko'rinishga keladi

$$H_s \leq 10 - \frac{\nabla}{900} - \sigma_{hyc.} H \quad (8.71)$$

GESlarni loyihalashda, mumkin bo'lgan so'rib ketish balandligi miqdorini hamda turbinani o'rnatish sathini aniqlashda (8.71) formuladan keng foydalaniladi.

Koeffitsient kavitatsiyani aniqlash, nusxa qurilmada eksperimental yo'l amalga oshiriladi.

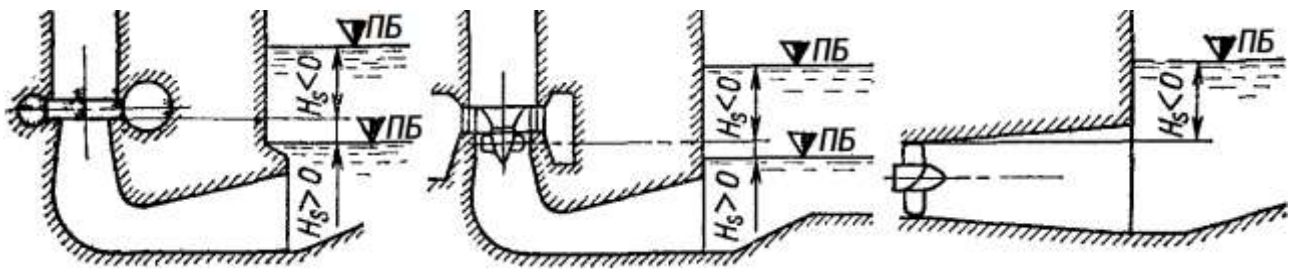


8.75-rasm. Kavitatsion sinovlarning natijalari.

Nusxa qurilma o'zgarmas bosim ostida ishlaydi va uning rejimi o'zgarmasdan qoladi, faqatgina qurilmaning o'rnatish koeffitsienti- $\sigma_{nus.}$ O'zgaradi. Masalan, pastgi bef dagi bosimni- $R_{p.b.}$ o'zgarishi hisobiga kamayadi (pastgi bef ustida havoni siyraklashishi hosil qilinadi) . Sinovlar natijasida olingan turbina FIKning miqdorlaridan foydalanib,

8.75-rasmda ko'rsatilgan $\eta = f(\sigma_{nus.})$ grafigini quramiz. Grafikdan ko'rinib turibdiki, qurilma o'rnatish koeffitsienti - $\sigma_{nus.}$ bir muncha vaqtgacha o'zining miqdorini saqlab turadi, sungra birdan pastga tusha boshlaydi.

Ishlash rejimi saqlanganligi sababli, faqatgina kavitatsiya koeffitsienti o'zgaradi, bu esa kavitatsion buzulishni hosil bo'layotganini hamda turbinada kavitatsion hodisani rivojlanayotganini ko'rsatadi. Buzulishda qurilmaning o'rnatish koeffitsienti- $\sigma_{nus.}$, to'g'ridan-to'g'ri kavitatsiyaning kritik koeffitsientini o'zida aks ettiradi. So'rib ketish balandligini- H_s hisoblashlarda, turbinaning hisob kavitatsiya koeffitsienti- $\sigma_{tur.}$ zahira koeffitsientini- k_σ kiritish orqalikavitatsiyaning kritik koeffitsientini aniqlaydilar: zahira koeffitsient- $k = 1,1 \div 1,2$ ga teng qabul qilinadi. Har xil turbinalar uchun ajratish turlari-8.77-rasmda keltirilgan.



8.77-rasm. Har xil turbinalar uchun so‘rib ketish balandligi

Vertikal radial-o‘qiy va diagonal turbinalarda so‘rib ketish balandligi- H_s yo‘naltiruvchi moslamaning pastgi chetidan hisoblanadi (ko‘pincha so‘rib ketish balandligi, yo‘naltiruvchi moslamaning o‘rta chizig‘idan hisoblanadi); vertikal o‘qiy turbinalarda-ish g‘ildiragi parraklarining bo‘rilish burchagidan hisoblanadi. gorizontal turbinalarda so‘rib ketish balandligi- H_s , ish g‘ildiragining yuqori nuqtasidan hisoblanadi. Turbinaning kavitatsiya koefitsienti, turbinaning turiga va ish rejimiga hamda uning tezyurarlik koefitsientiga- n_s bog‘liq bo‘ladi.

8.7. GIDRAVLIK TURBINALARNI TANLASH

Turbinalarning nomenklaturasi, foydalanish uchun tavsiya qilinadigan qator turdagi turbinalarning bosimiga nisbatan (suv oqib o‘tadigan qismining shakli) ularning quyidagi asosiy: nisbiy o‘lchamlari; keltirilgan aylanish chastotasi- n_1^1 , keltirilgan suv sarfi- Q_1^1 va kavitatsiya koefitsienti- σ ko‘rsatgichlarini ko‘rsatish bilan aniqlanadi. Hozirgi vaqtda o‘qiy parraklari buraladigan, radial-o‘qiy va diagonal turbinalarning nomenklaturasidan foydalaniladi. Nomenklatura gidroelektrostansiyalarni loyihalashda turbina tanlash uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Xalqaro va mamlakatimizdagi tavsiyalarga asosan [1-21], energetik jihozlarni standartlashtirish turbinalarning turi va tizimini o‘rnatadi hamda ulardan bosim bo‘yicha foydalanish sohasini va ularning energetik, mexanik va geometrik parametrlari to‘g‘risida tushuncha beradi. Turbina turi, parrakli tizimda qo‘llanishi mumkin bo‘lgan maksimal bosim bilan aniqlanadi. Har xil tizim va turdagi gidroturbinalardan foydalanish sohasi:

bosim bo‘yicha amaldagi jadvaldan foydalanib tanlash lozim

Hozirgi vaqtda turbinalarni qisqa markalash qabul qilingan, bundan tashqari markalar to‘rt ko‘rsatgichni o‘z ichiga oladi.

1. *Turbinaning ko‘rinishi (tizimi)* quyidagi harflar bilan belgilanadi: PL- parraklari buraladigan o‘qiy; D yoki PLD —parraklari buraladigan diagonal; PLK — parraklari buraladigan kapsulli; RO— radial-o‘qiy; Pr — propellerli o‘qiy; PrD —propellerli diagonal; K — cho‘michli.

2. *Turbina turi* asosan bosim bilan aniqlanadi. Bir xil bosim uchun, suv oqib o‘tadigan qismi bir-biridan farq qiladigan bir necha turbina turlari to‘g‘ri kelishi mumkin. Har bir turiga uning markasini ko‘rsatuvchi o‘zining tartib raqami tayinlanadi (ba‘zan kasr shaklida: so‘r‘tda maksimal bosim, maxrajda esa turi).

Turbina turlari va ularni bosim bo'yicha qo'llash zonalari

Gidroturbinalar tizimi	Gidroturbinalar turi	Foydalaniladigan bosimlar oralig'i, m	
		Eng katta	Eng kichik
	PL 10	10	4
Parraklari buraluvchi	PL 15	15	5
	PL 20	20	15
	PL 30	30	20
	PL 40	40	30
	PL 50	50	40
	PL 60	60	50
	PL 70	70	60
	PL 80	80	70
Radial-o'qiy	RO 45	45	30
	RO 75	75	45
	RO 115	115	75
	RO 140	140	115
	RO 170	170	140
	RO 230	230	170
	RO 310	310	230
	RO 400	400	310
	RO 500	500	400
Diagonal	PLD 50	50	40
	PLD 60	60	50
	PLD 70	70	60
	PLD 90	90	70
	PLD 115	115	90
	PLD 140	140	115
	PLD 170	170	140

3. *Joylashtirish* valning holati bilan aniqlanadi va vertikal (V) yoki gorizontal (G) bo'lishi mumkin.

4. *Turbinaning nominal diametri- D_1 , sm.* (PL va D-turbinalaari uchun ish g'ildiragi kamerasi bilan, RO-turbinasi uchun ish g'iliragi parraklarining kirishqirralari bo'ylab aniqlanadi.

Diagonal turbinalarda ish g'ildiragi parraklarining egilish burchagi- θ ham beriladi, cho'michli turbinalarda esa, soplone diametri va cho'michlarga kelib uriladigan oqimlar soni ko'rsatiladi.

Turbinalarni shartli belgilashga (markalashga) misollar:

PL20/811-V-800 — parraklari buraladigan o'qiy, 20 m maksimal bosimga, suv oqib o'tadigan qismining (ish g'ildiragi) 811-sonli, vertikal, $D_1=800$ sm.

$\ddot{A} \frac{120}{45-2556} - \hat{A} - 600$ - parraklari buraladigan diagonal, maksimal bosim-120 m, $\theta = 45^\circ$, turi 2556-tartib raqamli, vertikal, nominal diametri- $D_1=6,0$ m. (ko'pincha D 120/2556-V-45⁰-600 belgilanadi).

PLK 15/548-G-600 — o'qiy, parraklari buraladigan, kapsulli, maksimal bosim 15 m, joylashtirish-gorizontal, diametr- 6,0 m.

RO 115/810-V-500 — radial-o'qiy, maksimal bosim 115 m, suv oqib o'tadigan qismi (ish g'ildiragi shakli) 810 tartib raqamli, vertikal, $D_1=5,0$ m.

MHDTurbinalarni o'lchamlari bo'yicha ikki guruhga bo'lish qabul qilingan: yirik (PL –parraklari buraladigan- $D_1 > 2,8$ mva RO-radial-o'qiy turbinalar uchun- $D_1 > 1,8$ m) ; kichik va o'rtacha (D_1 ko'rsatilgan miqdorlardan kichik) .

O'qiy va radial-o'qiy turbinalar uchun tavsiya qilinadigan diametrlar (D_1 , sm) qatori: PL (parraklari buraladigan) turbinlar-60, 80, 100, 120, 160, 180, 190, 200, 212, 224, 236, 250, 265, 280, 300, 315, 335, 355, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750, 800, 850, 900, 1000, 1060;

RO (radial-o'qiy) turbinalar-35, 46, 50, 60, 71, 84, 100, 125, 140, 160, 180, 190, 200, 212, 224, 236, 250, 265, 280, 300, 315, 335, 355, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 530, 560, 600, 630, 670, 710, 750, 800, 850.

Yuqori bosimlar uchun chegaraviy diametrlar 8.2-jadvalga mos ravishda cheklanadi.

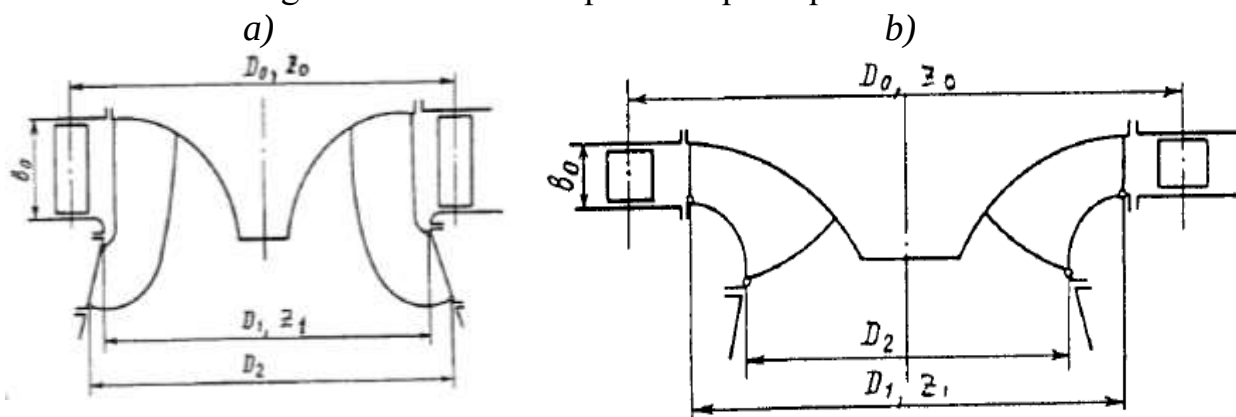
Turbinalar diametridan tashqari yana quvvati bilan xarakterlanadi. $N < 15000$ kVt bo'lgan turbinalar, o'rtacha va kichik turbinalarga taaluqlidir.

8.2-jadval

Yuqori bosimlar uchun turbinalarning chegaraviy diametri.

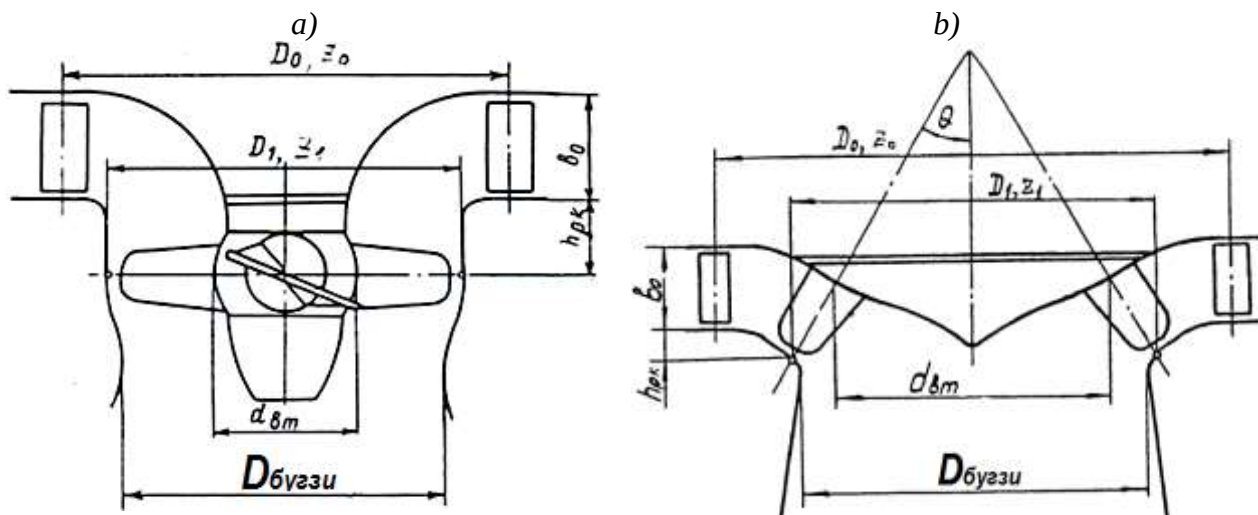
N_{maks} , m	>200	>300	>400
D_{1maks} , sm	850	600	500

Shunday qilib, diametri 180 sm, yuqori bosimlarda ishlab chiqaradigan quvati 20 000 kVt bo'lgan turbinalar yirik turbinalarga taaluqlidir. Radial-o'qiy, parraklari buraladigan va diagonal turbinalarning bosim bo'yicha qo'llanish sohalari jadvalda ko'rsatilgan. Hammasi bo'lib, to'qqiz turdagi parraklari buraladigan, to'qqiz turdagi radial-o'qiy va etti turdagi diagonal turbinalar keltirilgan. Nomenklaturadagi turbinalarning Bosh universal xarakteristikallari va boshqa ko'rsatgichlari, tarmoq standartida keltirilgan. Har bir turdagi turbina suv oqib o'tadigan traktining shakli, Bosh universal va boshqa xarakteristikallari bilan aniqlanadi. Biroq asosiy ko'rsatgichlar sifatida quyidagi muhimroq asosiy o'lchamlar va xarakterli parametrlarni ajratish mumkin: keltirilgan aylanishlar soni- n_1^1 , va suv sarfini- Q_1^1 , xuddi shuningdek kavitatsiya koefitsientini- σ . Bu ma'lumotlar turbina turini to'liq xarakterlab, gidroelektrostansiyalarni loyihalashdaularni tanlashni bazasi bo'lib xizmat qilishlari mumkin. Quyida ular har xil ko'rinishdagi turbinalar uchun qarab chiqilmoqda.



8.77-rasm. Radial-o'qiy turbinaning xarakterli geometrik o'lchamlari:

a - tez yuruvchi; b - sekin yuruvchi



8.78-rasm. Turbinalarning xarakterli geometrik o'lchamlari:

a - o'qiy parraklari buraladigan; b - diagonal

Ko'rsatilgandek bir miqdordagi bosim uchun turbinalarning har xil turdagi suv oqib o'tadigan qismi to'g'ri kelishi mumkin, shunda jadvalda keltirilgan ko'rsatgichlar, nomenklaturda keltirilganlardan bir muncha chetga chiqishi mumkin. Hidromashinalarning asosiy energetik, mexanik, kavitatsion va geometrik parametrlarini tanlashda, 8.1-8.6-jadvallarda keltirilgan tavsiyanomalarga amal qilish lozim, chunki ularda xarakterli o'lchamlari o'lchovsiz kattaliklarda, turbina ishchi g'ildiragi nominal diametriga nisbatan keltirilgan,

O'qiy, radial-o'qiy, diagonal turbinalarning asosiy aniqlovchi parametrlari 8.3-jadvalda keltirilgan. O'qiy turbinalarning muhimroq o'lchamlari 8.78-rasmida ko'rsatilgan.

O'qiy gidroturbinalarning asosiy parametrlari

8.3-jadval

Parametrlar	Gidroturbinaning turlari								
	PL 10	PL 15	PL 20	PL 30	PL 40	PL 50	PL 60	PL 70	PL 80
Ish g'ildiragidagi parraklar soni, z_1	3÷4	3÷4	4	4÷6	5÷6	7÷8	7÷8	8	8
Ish g'ildiragi korpusi-ning diametri, d_{vt}	0,35	0,35	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,55	0,60
Yo'naltiruvchi moslama-ning balandligi, b_0	0,450	0,420	0,400	0,375	0,375	0,375	0,350	0,350	0,350
Turbina kamerasining o'lchamlari: - kengligi, V_{sp} - qamrash burchagi	3,1÷ 2,9	2,65÷ 2,85	2,9÷ 2,65	2,7÷ 2,9	2,9÷ 2,6	2,9÷ 2,7	3,0÷ 2,9	3,2÷ 3,8	4,0÷ 3,4
			180÷ 210		210÷225		240÷345		
So'rib ketish quvuri-ning o'lchamlari: - balandligi, $h_{s.k.}$ - uzunligi, $L_{s.k.}$ - kengligi, $V_{s.k.}$									
	2,7	2,6	2,4	2,9	2,7	2,3	2,7	2,3	2,3
	4,5	4,5	4,0	4,5	4,5	5,0	5,0	5,6	4,5
	2,5	2,5	2,6	2,8	2,6	2,9	2,9	2,8	2,6

Keltirilgan optimal aylanish chastotasi- $n_{1\text{f}\ddot{o}}^1, \text{min}^{-1}$	165÷1 85	150÷16 5	138÷1 50	125÷1 35	115÷1 26	110÷1 20	105÷1 16	102÷1 10	100÷1 05
Keltirilgan optimal suv sarfi- $Q_{1\text{f}\ddot{o}}^1, \text{m}^3/\text{s}$	1,25÷ 1,45	1,125÷ 1,35	1,05÷ 1,25	1,00÷ 1,20	1,00÷ 1,2	0,95÷ 1,15	0,9÷ 1,05	0,85÷ 1,00	0,80÷ 0,95
Kavitatsiya shartlari bo'yicha maksimal suv sarfi- $Q_{1\text{i}\ddot{a}\ddot{o}}^1, \text{m}^3/\text{s}$	2,30÷ 2,5	2,10÷ 2,35	1,80÷ 2,25	1,45÷ 2,00	1,25÷ 1,2	1,15÷ 1,50	1,05÷ 1,3	0,95÷ 1,20	0,90÷ 1,10
Kavitatsiya koefitsienti- σ	1,50	1,10÷ 1,40	0,95÷ 0,35	0,90÷ 0,30	0,7÷ 0,25	0,60÷ 0,20	0,55÷ 0,2	0,55÷ 1,15	0,45÷ 0,15

Radial-o'qiy gidroturbinalarning asosiy parametrlari

8.4-jadval

Parametrlar	Gidroturbinaning turlari									
	RO 45	RO 75	RO 115	RO 140	RO 170	RO 230	RO 310	RO 400	RO 500	RO 600
Yo'naltiruvchi moslamaning nisbiy balandligi, b_0	0,35	0,30	0,25	0,25	0,20	0,16	0,12	0,10	0,08	0,06
Turbina kamerasi-ning o'lchamlari: - kengligi, V_{sp} - chiqishdagi diametri, d_{sp}										
	4,0	3,7	3,5	3,5	3,1	3,1	3,2	2,7	2,7	2,7
So'rib ketish quvuri-ning o'lchamlari: - balandligi, $h_{s,k}$ - uzunligi, $L_{s,k}$ - kengligi, V_{sp}	1,4	1,3	1,4	1,4	0,93	0,95	1,0	0,7	0,7	0,7
	2,6	3,0	2,6	2,6	2,4	2,7	3,0	3,2	3,2	3,5
	5,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Keltirilgan opti-mal aylanish chastotasi- $n_{1\text{f}\ddot{o}}^1, \text{min}^{-1}$	2,8	3,1	3,0	3,0	2,6	2,7	2,9	1,51	1,5	1,5
	80÷ 90	75÷ 83	68÷ 77	66÷ 74	64÷ 72	62÷ 68	60÷ 66	60÷ 65	58÷ 65	56÷ 65
	1,15÷ 1,30	1,00÷ 1,15	0,85÷ 1,00	0,75÷ 0,90	0,55÷ 0,70	0,40÷ 0,55	0,30÷ 0,40	0,20÷ 0,30	0,18÷ 0,25	0,15÷ 0,20
5% zahira quvvati chizig'idagi maksimal suv sarfi- $Q_{1\text{i}\ddot{a}\ddot{o}}^1, \text{m}^3/\text{s}$	1,35÷ 1,55	1,15÷ 1,40	0,95÷ 1,15	0,85÷ 1,00	0,70÷ 0,85	0,50÷ 0,65	0,35÷ 0,50	0,30÷ 0,37	0,25÷ 0,30	0,20÷ 0,26
$Q_{1\text{f}\ddot{o}}^1 - Q_{1\text{D}}^1$ bo'lganda kavi-tatsiya koefitsient, σ	0,15÷ 0,24	0,13÷ 0,21	0,10÷ 0,17	0,09÷ 0,15	0,07÷ 0,13	0,05÷ 0,09	0,04÷ 0,07	0,04÷ 0,07	0,04÷ 0,07	0,04÷ 0,07

Diagonal gidroturbinalarning turbinalarning asosiy parametrlari

8.5-jadval

Parametrlar	Gidroturbinaning turlari						
	PLD 50-V	PLD 60-V	PLD 70-V	PLD 90-V	PLD 115-V	PLD 140-V	PLD 170-V
Parraklarining qayrilish burchagi- θ , grad	60		45				30
Ish g'ildiragining parraklari soni, z_1	7÷8	7÷8	8÷9	9÷10	9÷10	9÷11	10÷12
Ish g'ildiragi korpusining diametri- d_{vt}	0,50	0,53	0,55	0,60	0,65	0,70	0,76
Ish g'ildiragi bug'zining diametri, $D_{bug'}$	1,01÷ 0,99		1,00÷0,98				0,98÷ 0,97
Yo'naltiruvchi moslama doirasi diametri, D_o	1,25÷ 1,30		1,32÷1,35				1,38÷ 1,42
Yo'naltiruvchi moslamaning nisbiy balandligi, b_0	0,375	0,350	0,350	0,320	0,280	0,250	0,230
Ish g'ildiragini joylashishi balandligi, $\bar{h}_{\partial e}$	0,14÷ 0,18	0,10÷ 0,15	0,08÷ 0,09	0,14÷ 0,18	0,10÷ 0,15	0,08÷ 0,09	0,14÷ 0,18
Turbina kamerasining o'lchamlari: - kengligi, V_{sp} - chiqishdagi diametri, d_{sp}	4,0÷4,2	2,9÷3,1	4,0÷4,2	3,6÷4,0	3,7÷3,8	3,7÷3,8	4,0÷4,2
	1,4÷1,5	-	1,4÷1,5	1,3÷1,4	1,25÷ 1,3	1,25÷ 1,3	1,3÷1,4
So'rib ketish quvurining o'lchamlari: - balandligi, $h_{s,k.}$ - uzunligi, $L_{s,k.}$ - kengligi, $V_{sp.}$	2,3÷2,5	2,3÷2,5	2,3÷2,5	2,4÷4,1	4,0÷4,2	4,0÷4,2	2,3÷2,5
	4,5÷5,0	4,5÷5,0	4,5÷5,0	4,5÷8,0	7,0÷8,0	7,0÷8,5	4,0÷4,5
	2,5÷2,6	2,9÷3,0	2,5÷3,0	2,5÷1,6	1,6÷1,7	1,6÷1,7	2,2÷2,5
Keltirilgan optimal aylanish chastotasi- $n_{1\tau\partial}^1$, min^{-1}	105÷ 115	100÷ 115	100÷ 110	85÷89	83÷91	82÷87	77÷85

Parametrlar	Gidroturbinaning turlari				
	PL 7-GK	PL 10-GK	PL 15-GK	PL 20-GK	PL 25-GK
Ish g'ildiragidagi parraklar soni, z_1	3÷4	3÷4	4	4	4-5
Ish g'ildiragi korpusining nisbiy o'lchamlari, $\bar{d}_{\text{ao}}$	0,35	0,35	0,36	0,37	0,40
Yo'naltiruvchi moslamaning nisbiy balandligi, b_0	0,40	0,40	0,40	0,375	0,375
Turbina o'qiga nisbatan yo'naltiruvchi moslama parraklari aylanish o'qining qiyalik burchagi- α , grad	60÷65	60÷65	60÷65	60	60
Kapsulaning nisbiy diametri, $\bar{D}_\varepsilon$	1,1÷1,15	1,15÷1,2	1,15÷1,2	1,2	1,2
Keltirilgan optimal aylanish chastotasi- $n_{1\text{m}0}^1$, min ⁻¹	150÷190	145÷180	140÷170	135÷165	135÷160
Keltirilgan optimal suv sarfi- $Q_{1\text{m}0}^1$, m ³ /s	1800÷2000	1700÷1900	1600÷1800	1500÷1750	1450÷1700
Kavitatsiya shartlari bo'yicha maksimal suv sarfi- $Q_{1\text{ia}0}^1$, m ³ /s	3200÷3500	2800÷3250	2400÷3000	2000÷2750	1700÷2500
Gidroturbinaning tezyurarlik koeffitsienti- n_s ayl/min	920÷1230	850÷1140	750÷1020	660÷920	610÷850
$Q_{1\text{m}0}^1$ bo'lganda kavitatsiya koeffitsienti, σ	2,2÷3,0	1,9÷2,4	1,5÷2,1	1,2÷1,8	1,0÷1,6

Eslatma:

1. Gidroturbinalarning barcha turlari uchun ish g'ildiragi kamerasi bug'zining nisbiy diametri - $\bar{D}_{\text{a}i\text{o}\varepsilon}=0,97-0,985$, ish g'ildiraklari va yo'naltiruvchi moslamalar orasidagi nisbiy masofa- $\bar{L}_0=0,7-0,85$.

2. Ko'rsatilgan qiymatlardan $\bar{d}_{\text{ao}}$ ning ruxsat etilgan og'ishi $\pm 5\%$ dan oshmasligi kerak.

8.7. GIDRAVLIK TURBINALARNI TANLASH

8.7.1. Reaktiv turbinalarni keltirilgan parametrlar bo'yicha tanlash

GESni loyihalashda turbina turini tanlash uchun quyidagi birlamchi ma'lumotlar zarur:

N_h - hisob bosimi;

N_{maks} - maksimal bosim;

N_{min} - minimal bosim;

N_r – turbinaning talab qilinadigan hisob bosimi.

Turbinani hisoblash (tanlash) tartibi:

1. Turbina turini maksimal bosim bo'yicha tanlash- N_{maks} ;

2. Turbinaning hisob suv sarfini berilgan quvvat bo'yicha aniqlash- N_r :

$$Q_p = \frac{N_p}{9,81 H_p \eta} \quad (8.72)$$

Odatda FIKni parraklari buraladigan turbinalar uchun- $\eta=0,87 \div 0,9$, radial-o'qiy turbinalar uchun esa- $\eta=0,90 \div 0,92$ miqdorda qabul qilinadi.

3. Ish g'ildiragining nominal diametrini aniqlash. Keltirish formulalaridan foydalanib, parraklar tizimi diametri quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{Q_p}{Q'_{1P} \sqrt{H_p}}} \text{ yoki } D_1 = \sqrt{\frac{N_p}{9,81 Q'_{1P} n H_p \sqrt{H_p}}}, \text{ m} \quad (8.73)$$

Q'_{1P} - universal xarakteristikadan aniqlanadigan suv sarfining hisob miqdori,

Radial-o'qiy turbinalar uchun Q'_{1P} , n'_{1P} bo'lganda optimum xarakteristi-kadan o'tuvchi quvvatni chegaralash chizig'idan qabul qilinadi (5 % zahira quvvati chizig'i) ($0,95 N_{\text{ia} \hat{e} n}$)).

Parraklari buraladigan (PL) uchun $Q'_{1P} \approx (1,5 \div 1,6) Q'_{1\text{f} \hat{o}}$, optimum xarakteristikaga to'g'ri keladi. Olingan miqdor standartga mos qilib yaxlitlanadi.

4. Gidroagregat rotorining sinxron aylanish chastotasi hisoblanadi:

$$n = \frac{n'_{1P} \sqrt{H_p}}{D_1} \quad (8.74)$$

8.7-jadval

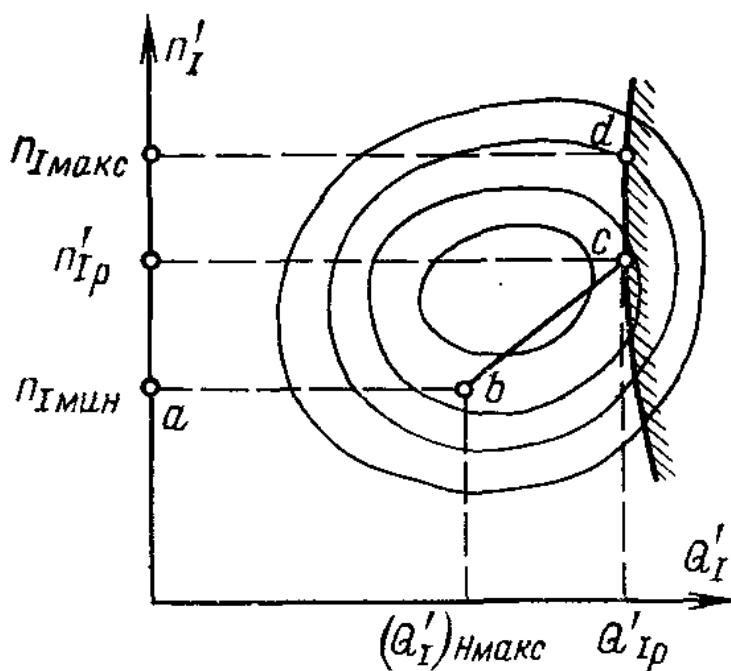
Sinxron aylanish chastotasi

Generatorning polyuslar soni	$n_{\hat{N}}$	Generatorning polyuslar soni	$n_{\hat{N}}$	Generatorning polyuslar soni	$n_{\hat{N}}$
8	750	44	136,4	88	68,2
10	600	48	125,0	90	66,7
12	500	52	115,4	92	65,2
14	428,6	56	107,1	96	62,5
16	375,0	60	100,0	100	60,0
18	333,3	64	93,8	102	58,8
20	300,0	66	90,9	104	57,4
24	250,0	68	88,2	108	55,6
26	230,8	70	85,7	110	54,6
28	214,3	72	83,3	112	53,6
30	200,0	76	78,9	114	52,6
32	187,5	78	76,9	116	51,8
36	166,7	80	75,0	120	50,0
40	150,0	84	71,4	128	46,9

Radial-o'qiy turbinalar uchun hisob keltirilgan aylanishlar soni n'_{1P} , optimal aylanishlar chastotasiga $n'_{1\text{opt}}$ yaqin olinadi, parraklari buraladigan va diagonal turbinalar uchun esa $n'_{1P} > n'_{1\text{opt}}$ qabul qilinadi. Bu shu bilan bog'liqki, turbina katta vaqt oralig'ida $N > N_R$ bosimda ishlaydi va unda xuddi shu aylanishlar chastotasida n keltirilgan aylanishlar chastotasi n'_1 kamayib ketadi va turbinaning optimum xarakteristikasi zonasiga tushadi. Odatda n'_{1P} , optimum xarakteristikadan 2-3 ayl/min ko'proq olinadi.

Aylanishlar chastotasining n olingan miqdorlari, ma'lumotnomada berilganlarga asosan, sinxron aylanishlar chastotasiga n_N yaqin qilib yaxlitlanadi.

5. Tanlangan gidroturbinaning kafolatlangan ish rejimi diapazonini aniqlash. Turbinalarni ekspluatatsiya qilish, o'zgarishi mumkin bo'lgan suv sarfi va bosim chegarasida imkoniyati boricha yuqori energetik va ekspluatatsion parametrlarda o'tishi kerak. Gidroagregatning kafolatlangan va ishonchli ekspluatatsiya qilish zonasini aniqlash uchun, har xil bosimlar uchun N_{ishchi} , N_{maks} va N_{min} xarakterli rejimlarni hisoblash zarur.



$$n'_{1\delta} = \frac{nD}{\sqrt{H_p}}$$

$$n'_{1\text{ier}} = \frac{nD}{\sqrt{H_{\text{iaen}}}}$$

$$n'_{1\text{iaen}} = \frac{nD}{\sqrt{H_{\text{iaen}}}}$$

8.79-rasm. Gidroturbinaning kafolatlangan ish rejimi oralig'ini aniqlash

Turbina tanlashda, yuqori FIK sohasi iloji boricha butunlay zona ichkarisida joylashishi kerak.

6. Mumkin bo'lgan so'rib ketish balandligi quyidagi formula bilan aniqlanadi.

$$H_s \leq H_0 - \frac{\nabla YHB_{\text{min}}}{900} - h_{c.b.b.} - (\sigma_T H + 1.5)$$

bunda: $N_0 = 10,33$ m – dengiz sathiga nisbatan barometrik bosim;

∇ - GESga suv olib keluvchi manbadagi minimal suv sathi (pastgi befdagi minimal suv sathi) ;

$h_{s.b.b}$ – bug‘ hosil bo‘lish bosimi (suyuqlik bug‘ining bosimi) ;

σ_T – kavitatsiya koeffitsientining miqdori (turbinaning universal xarakteristikasida joylashgan) ;

1,5 – kavitatsiya koeffitsienti miqdorida masshtab faktorini hisobga oluvchi faktor – gidroturbinaning parraklar tizimini tayyorlashdagi xatolik, m.

Agar $N = 10,30$ m va $h_{c.b.b} = \frac{P_{nc.b.b.}}{\gamma} \approx 0,3M$, unda

$$H_s \leq 10 - \frac{\nabla YHB_{min}}{900} - (\sigma_T H + 1,5)$$

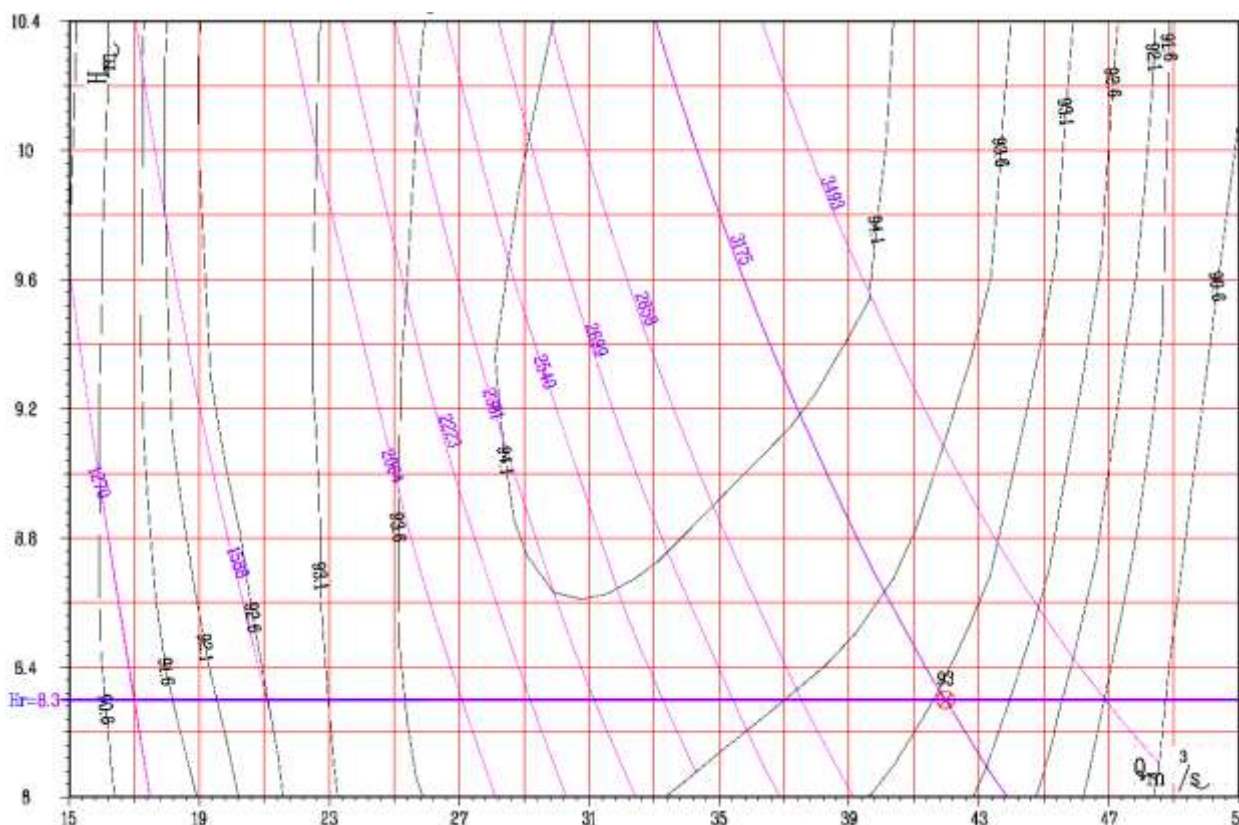
Ish g‘ildiragining sathi, gidroagregatni barcha ish rejimlarida ishonchli ekspluatatsiya qilish shartlariga asosan nisbatan tanlanadi

$$\nabla PK = \nabla YHB_{min} - H_s$$

7. Turbinaning asosiy o‘lchamlari, jadvallarda keltirilgan nisbiy o‘lchamlar asosida va ushbu turdagi turbinaning chizmalarida keltirilgan ish g‘ildiragi diametri miqdori bo‘yicha aniqlanadi.

8. Turbinaning massasi taqribiy formulalar yoki o‘xshash turbinalarga nisbatan aniqlanadi.

8.7.2. Xitoy gidroturbinolari xaqida ma'lumotlar



8.80 – rasmd. Dongfang elektr xalqaro korporatsiyasi (XXR) tomonidan ishlab chiqarilgan ZSD471 turbinasi uchun bosim va oqimning universal xarakteristikasi.

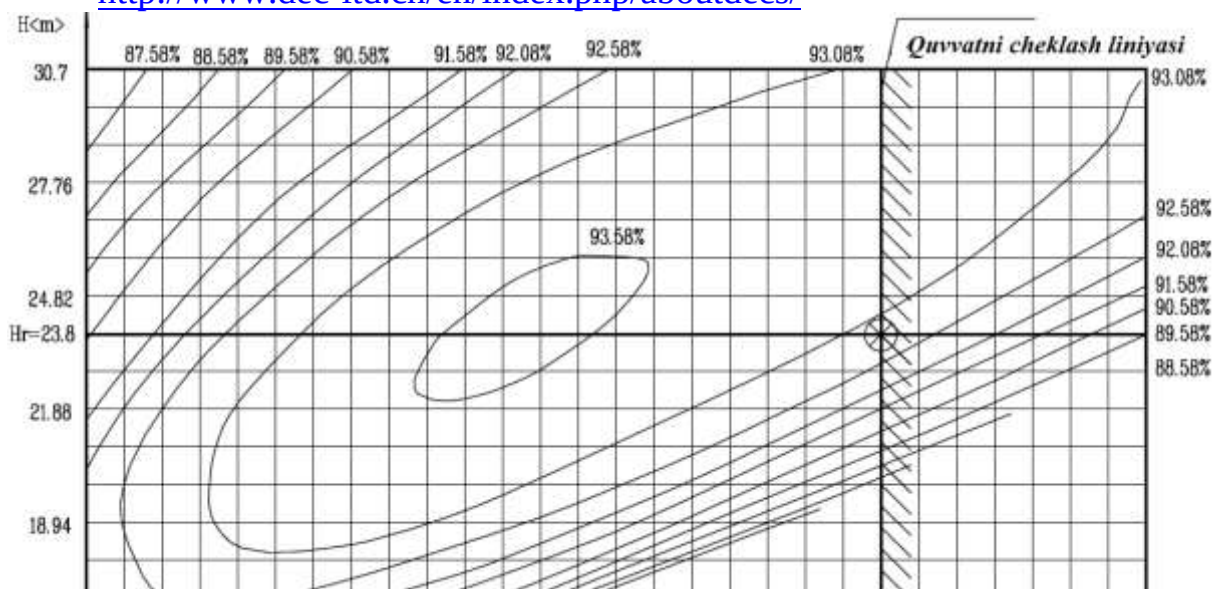
8.80-rasmda Katta Farg'ona kanali (KFK-1) gidroelektr stantsiyasida o'rnatilgan ZSD471 turbinasining (diametri $D_1 = 2800$ mm, aylanish tezligi $n = 150$ min^{-1}) napori (ishchi bosimi) va suv sarfi (oqim xarakteristikalari) keltirilgan.

Xarakterli bosim chizig'ining hisobiy napori ($H_h = 8.3$ m) xarakteristikada chizilgan va unga tegishli bo'lgan parametrlari – foydali ish koeffitsenti $\eta = 93\%$ va quvvati $N = 3175$ kVt ish nuqtasi ko'rsatilgan.

Dongfang Electric Corporation (DEC) Xitoyning iqtisodiyoti va milliy xavfsizligida hal qiluvchi o'ringa ega 53 ta eng yirik davlat korxonalaridan biridir. DEC qarorgohi Chengdu shahrida joylashgan. 50 yil davomida DEC butun Xitoyning sanoat darajasini namoyish etadigan yetakchi davlat korxonasiga aylandi. Faoliyatning asosiy yo'nalishlari elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi uskunalar ishlab chiqarish, elektr stantsiyalarini qurish, elektr stantsiyalariga xizmat ko'rsatish, elektron boshqaruv uskunolari, atrof-muhit va energiya tejaydigan uskunalar ishlab chiqarish. DEC 6 ta filialga to'liq egalik qiladi, shuningdek 100 dan ortiq korxona bilan alohida aloqaga ega. Mahalliy bozorda DEC issiqlik elektr stantsiyalari uchun uskunalar ishlab chiqarishda uchinchi va gidroelektr stantsiyalar uchun uskunalar ishlab chiqarish bozorida beshdan ikkisini egallaydi. Dongfang Turbine Co. Ltd sho'ba korxonasi (DTC) quvvati 1 dan 770 MVt gacha bo'lgan gidravlik turbinalarni ishlab chiqaradi.

(<https://www.oborudunion.ru/company/4240518>)

<http://www.dec-ltd.cn/en/index.php/aboutdecs/>

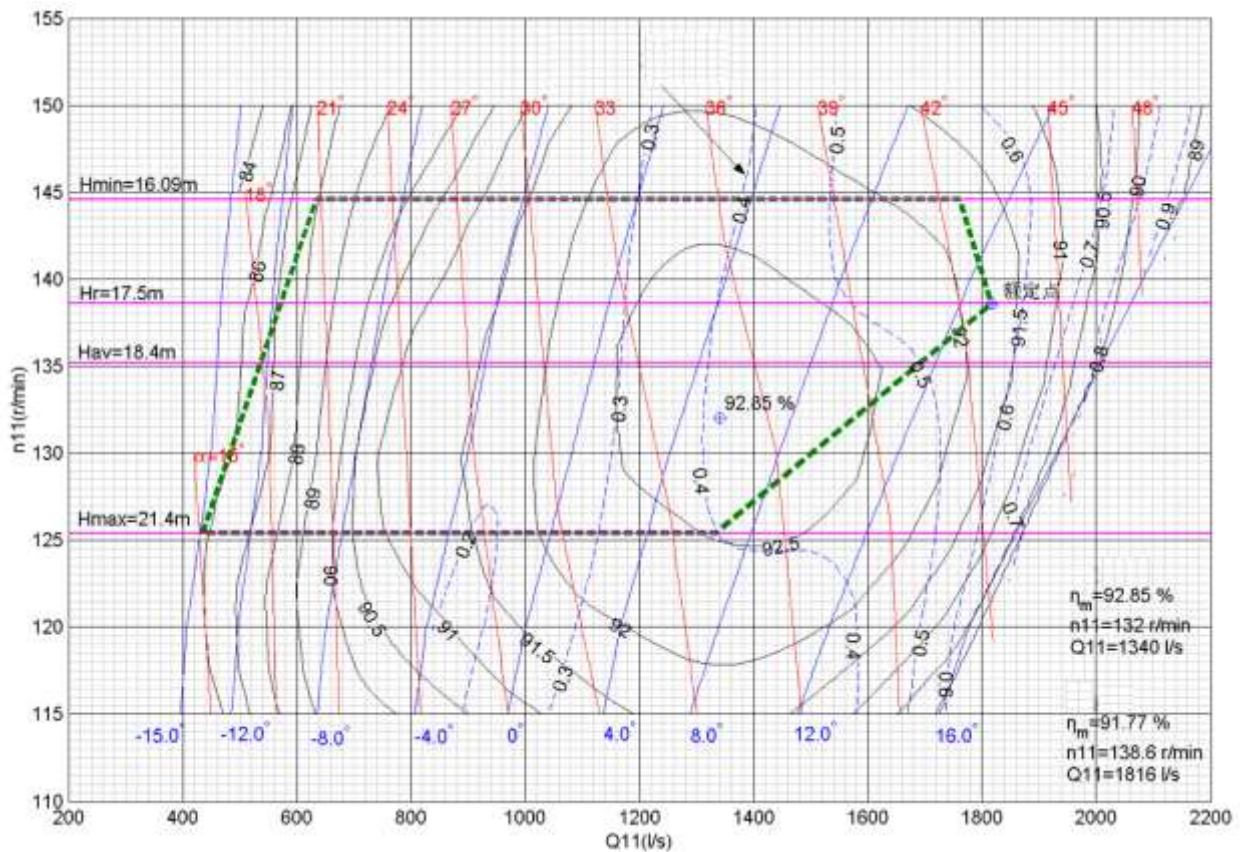


8.81-rasm. Dongfang elektr xalqaro korporatsiyasi (XXR) tomonidan ishlab chiqarilgan ZZA315 turbinasining bosim-quvvatining ishchi tavsifi

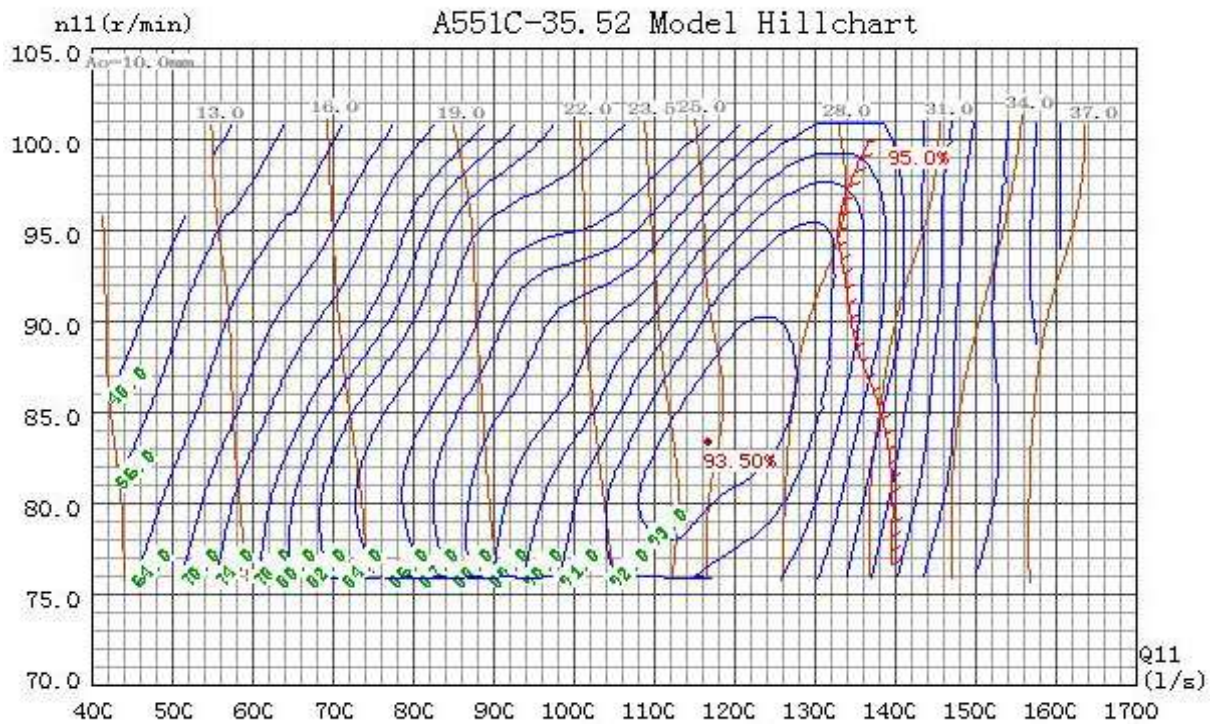
8.81-rasmda Tuyabug'uz GESida o'rnatilgan ZZA315 turbinasining (diametri $D_1=2200$ mm, aylanish chastotasi $n=250$ min^{-1}) ish bosimi va oqim xarakteristikalari tavsiflangan. Xarakterli bosim chizig'i ($H_h=23,8$ m) xarakteristikada chizilgan va parametrlari – foydali ish koeffitsenti $\eta=92.9\%$ va quvvati $N = 5962$ kVt bo'lgan ish nuqtasi ko'rsatilgan.

8.82-rasmdagi D 471 turbinasining asosiy universal xarakteristikalari (diametri $D_{\text{mod}}=350$ mm, aylanish tezligi $n=100$ min^{-1}) berilgan, ushbu model boshidagi maksimal ($H_{\text{max}}=21.4$ m), minimal ($H_{\text{min}}=16.09$ m) va hisobiy ($H_h=17,5$ m) bosimlari va optimal parametrlari – foydali ish koeffitsenti $\eta = 92.85\%$,

keltirilgan aylanish chastotasi $n_1' = 132 \text{ min}^{-1}$ va suv sarfi $Q_1' = 1340 \text{ l/s}$ bo'lgan ish nuqtasini hisobga olgan holda qurilgan ishchi diapazonlarga nisbatan qo'llaniladi.



8.82-rasm. Dongfang elektr xalqaro korporatsiyasi (XXR) tomonidan ishlab chiqarilgan D 471 turbinasining asosiy universal xarakteristikasi (AUX)



8.83-rasm. Dongfang elektr xalqaro korporatsiyasi (XXR) tomonidan ishlab chiqarilgan A551C-35.52 turbinasining asosiy universal xarakteristikasi (AUX) .

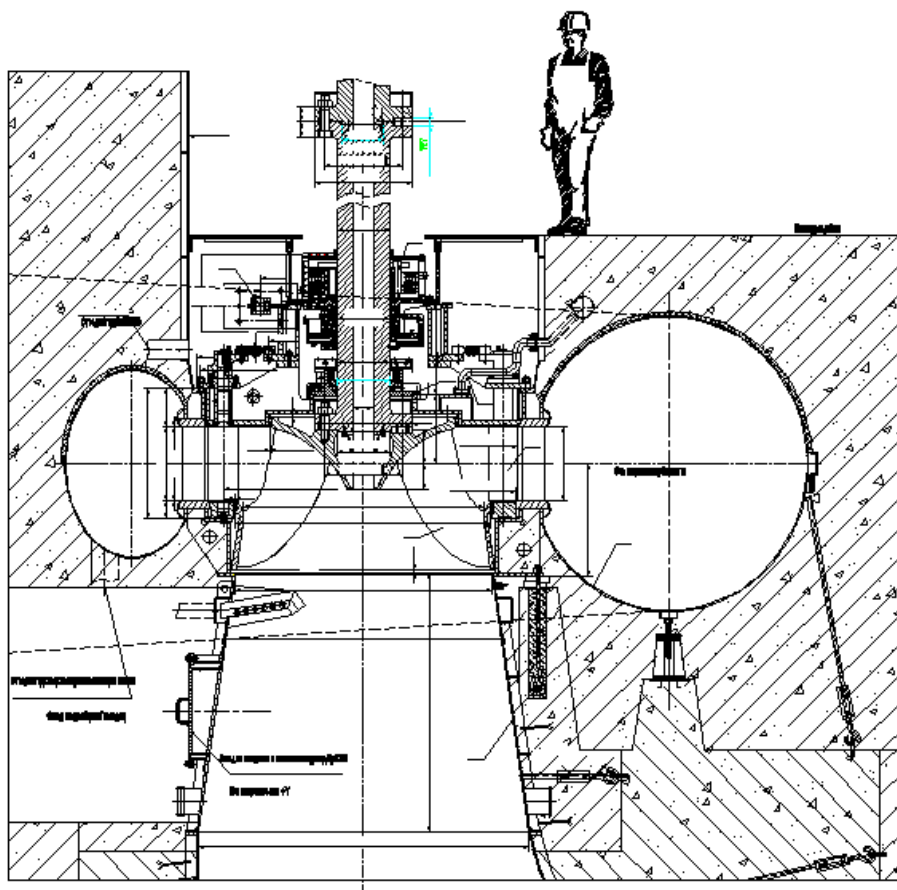
8.83-rasmda A551C-35.52 turbinasining asosiy universal xarakteristikasi ko'rsatilgan. Bunday turbina Kadiriyl GESni modernizatsiya qilish jarayonida o'rnatiladi.



8.84-rasm. Mashina zalida burama kurakli turbinani o'rnatish



8.85-rasm. GES mashina zali.



8.86-rasm. Dongfang electric international corporation (XXR) tomonidan ishlab chiqarilgan radial aksenel turbina.

VIII bobga doir test savollari

1. Q_1^1 , n_1^1 va N_1^1 belgilar nimani bildiradi?

- Turbinaning ishchi g'ildiragi 1_M va bosimi 1_M ga teng bo'lganda model turbinaning kuyidagi turi uchun keltirilgan parametrlari
- Turbinaning ishchi g'ildiragi 1_M va suv sarfi $1_L/c$ ga teng bo'lganda model turbinaning kuyidagi turi uchun keltirilgan parametrlari
- Turbinaning bosimi 1_M va suv sarfi $1_L/c$ ga teng bo'lganda turbinaning kuyidagi turi uchun parametrlari
- Turbinaning ishchi g'ildiragi 1_M va suv sarfi $10_L/c$ ga teng bo'lganda turbinaning kuyidagi turi uchun parametrlari

2. Agar D_1 ishchi gildirak kirishdagi diametri D_1 ishchi gildirakni chiqishdagi diametri D_2 dan katta bulgandagi turbina ishchi gildiragi tezyurardigini aniqlang.

- Sekinyurar
- Me'yoriy
- Tezyurar
- o'rtayurar

3. Agregatning qaysi qismi oqimning gidravlik energiyasini aylanishning mexanik energiyasiga aylantirishda xizmat qiladi?

- a) Ishchi g'ildirak
- b) Yo'naltiruvchi apparatning parraklari
- c) Val
- d) Generator

4. Aktiv turbinalarning xarakterlariga nima kirmaydi?

- a) Ishchi g'ildirak suvda joylashadi
- b) Bir vaqtni ichida suv 1,2,4 yoki 6 parraklarga tushadi
- c) Bir vaqtni ichida suv xamma parraklarga tushadi
- d) Ishchi g'ildirakga kirishda undan chiqishga qaraganda suv oqimi ortiqcha bosimga ega

5. Aktiv turbinaning asosiy qismlari?

- a) Ignali soplo, cho'michli ishchi g'ildirak, kojux
- b) Ignali soplo, ishchi g'ildirak, turbina kamerasi, so'ruvchi quvuri
- c) Ignali soplo, ishchi g'ildirak, turbina kamerasi, stator kolonnasi
- d) Yo'naltiruvchi apparat, ishchi g'ildirak, turbina kamerasi, so'ruvchi quvuri, stator kolonnasi

6. Valning aylanish tezligini me'yorda ushlash maqsadida yuklamani uzgarishi bilan turbinaning quvvatini o'zgartirish jarayoni qanday nomlanadi?

- a) Turbinaning roslanishi
- b) Generatorning roslanishi
- c) Turbina bosimini roslash
- d) Turbina FIQni roslash

7. Generatorning markasi BFC 440/29-48. Bunda 48 raqami nimani belgilaydi?

- a) Generatorning juft qutublar sonini
- b) Generatorning qutublar sonini
- c) Generatorning uzunligi (c_M)
- d) Generatorning uzunligi (M)

8. Generatorning markasi BFC 440/29-48. Bu qanday generatorning turi?

- a) Vertikal sinxron generatori
- b) Gorizontal asinxron generatori
- c) Gorizontal sinxron generatori
- d) Vertikal asinxron generatori

9. Generatorning markasi BFC 440/29-48. Bunda 29 raqami nimani belgilaydi?

- a) Aktiv po'latning uzunligi (c_M)
- b) Aktiv po'latning diametri (c_M)
- c) Generatorning uzunligi (c_M)
- d) Generatorning uzunligi (M)

10. Generatorning markasi BГC 440/29-48. Bunda 440 raqami nimani belgilaydi?

- a) Generatorning tashki diametri (c_M)
- b) Aktiv po'latning uzunligi (c_M)
- c) Generatorning uzunligi (c_M)
- d) Generatorning uzunligi (M)

11. Generatorning turini tanlash uchun qaysi parametrlarni bilish kerak?

- a) Turbinaquvvati (N_T) va turbinaning aylanish soni n_T
- b) GESning quvvati $N_{ГЭС}$ va turbinaning FIQi η_T
- c) GESning quvvati ($N_{ГЭС}$) va turbinaning aylanish soni n_T
- d) Turbinaquvvati (N_T) va turbinaning FIQi η_T

12. Generatorning chegaraviy quvvati nimaga teng?

- a) N_T / η_T
- b) $N_T \cdot \eta_T$
- c) $N_{ГЭС} / \eta_e$
- d) N_T / η_T

13. GESda qaysi turdagi generatorlar ishlatiladi?

- a) O'zgaruvchan elektr tok uchun sinxron
- b) O'zgaruvchan elektr tok uchun asinxron
- c) Uzgarmaydigan elektr tok uchun sinxron
- d) O'zgaruvchan elektr tok uchun asinxron

14. GESning gidroagregati nima?

- a) GESning turbina va generatori
- b) GESning xamma generatorlari
- c) GESning xamma turbinalari
- d) GESning xamma turbina va generatorlari

15. Qanaqa turbina statik bosim balandligi tulaligicha foydalanilmaydi?

- a) Cho'michli
- b) Parrakli
- c) Burama kurakli
- d) Radial uqiy

16. Qanaqa turbinalar yukori bosim balandligida ishlaydi (2000_M gacha)

- a) Cho'michli
- b) Burama-kurakli
- c) Radial-uqiy
- d) Parrakli

17. Qanaqa turbinalar past bosim balandligida ishlaydi (40_M gacha).

- a) Parrakli
- b) Radial-uqiy
- c) Cho'michli

d) Diagonal

18.Qanday bosimsiz derivatsion suv o'tkazgich bo'lmaydi?

- a) Bosimli tunnel
- b) Bosimsiz tunnel
- c) Ochiq kanal
- d) Bosimsiz quvur

19.Qanday parametrlardan turbini turi tanlanadi?

- a) Turbina quvvati N_T va ishchi bosim H buyicha
- b) GES quvvati $N_{ГЭС}$ va ishchi bosim H buyicha
- c) Turbina quvvati N_T va statik bosim H_{cm} buyicha
- d) Turbina sarfi Q_T va ishchi bosim H ish buyicha

20.Qanday sharoitlarda tubinada kavitatsiya xodisasi xosil bo'lishi mumkin?

- a) Suvning kuyidagi xarorati uchun turbinadagi bosim suyuqlikning bo'g'lanish bosimidan kamroq bo'lganda
- b) Suvning kuyidagi xarorati uchun turbinadagi bosim suyuqlikning bo'g'lanish bosimidan kattaroq bo'lganda
- c) Ishchi g'idorakda bosim oshib ketishi oqibatida
- d) Turbinaning quvvati o'zgarganda

21. Quyidagi formula yordamida nima aniqlanadi

$$9,81 \cdot Q_T \cdot H \cdot \eta_T ?$$

- a) Turbinaning quvvati
- b) Turbinaning energiyasi
- c) Turbinaning ishi
- d) Generatorning quvvati

22.Model turbinaning bir xil FIQ, yo'naltiruvchi apparatni ochilishi va kavitatsiya koeffitsientlari va keltirilgan suv sarfi va aylanish sonlari orasidagi grafik bog'lanishlar nima deyiladi?

- a) O'qiy propellerli turbinaning bosh universal xarakteristikasi
- b) O'qiy parraklari buruvchan turbinaning ishchi xarakteristikasi
- c) Ekspluatatsion xarakteristikasi
- d) Aylanish xarakteristikasi

23.Model turbinaning bir xil FIQ, quvvatning 5 foyizlik zaxirasi, yo'naltiruvchi apparatni ochilishi va kavitatsiya koeffitsientlari va keltirilgan suv sarfi va aylanish sonlari orasidagi grafik bog'lanishlar nima deyiladi?

- a) Radial – o'qiy turbinaning turbinaning bosh universal xarakteristikasi
- b) O'qiy parraklari buruvchan turbinaning ishchi xarakteristikasi
- c) Ekspluatatsion xarakteristikasi
- d) Aylanish xarakteristikasi

24. Model turbinaning bir xil FIQ, parraklarni burilgan burchagi, yo'naltiruvchi apparatni ochilishi va kavitatsiya koef-fitsientlari va keltirilgan suv sarfi va aylanish sonlari orasidagi grafik bog'lanishlar nima deyadi?

- a) O'qiy parraklari buruvchan turbinaning bosh universal xarakteristikasi
- b) O'qiy parraklari buruvchan turbinaning ishchi xarakteristikasi
- c) Eksploatatsion xarakteristikasi
- d) Aylanish xarakteristikasi

25. Nima uchun turbina (generator) valining aylanish tezligini bir me'yorda ushlab turish kerak?

- a) Chunki sinxron generatori bir xil aylanish tezligiga ega bulib chastotasi 50 zepu li elektr tokni ishlab berishi
- b) Chunki sinxron generatori bir xil aylanish tezligiga ega bulib chastotasi 100 zepu li elektr tokni ishlab berishi
- c) Chunki sinxron generatori bir xil aylanish tezligiga ega bulib chastotasi 125 zepu li elektr tokni ishlab berishi
- d) Chunki sinxron generatori bir xil aylanish tezligiga ega bulib chastotasi 75 zepu li elektr tokni ishlab berishi

26. Oqimning qaysi energiyasi aktiv turbinalarda ishlatiladi?

- a) Kinetik energiyasi
- b) Potentsial energiyasi
- c) Umumiy energiyasi
- d) Bosim energiyasi

27. Oqimning qaysi energiyasi reaktiv turbinalarda ishlatiladi?

- a) Potensial energiyasi
- b) Kinetik energiyasi
- c) Umumiy energiyasi
- d) Bosim energiyasi

28. Radial-o'qiy turbinada nima mavjud emas?

- a) Cho'mich - parraklar bilan ishlangan ishchi g'ildirak
- b) Val
- c) Yo'naltiruvchi apparatning parraklari
- d) Egruvchan parraklar bilan ishlangan ishchi g'ildirak

GLOSSARIY

«A»

Avankamera	Nasos kameralarini suv olib keluvchi kanal bilan birlashtiruvchi, kanalning kengayib va chuqurlashib boruvchi qismi.
Aktiv gidravlik turbina	Oqimning kinetik energiyasidan foydalanuvchi gidravlik turbina
Agregat bloki (turbina bloki)	Turbina va generator xonasini o'z ichiga olgan, (unda agregat barcha uskunalari bilan joylashgan) GES binosining bir qismi.
Aylanishlar soni	Nasos valini aylanish tezligi, ayl/min

«B»

Bief: yuqori yoki pastgi bief	Daryo, kanal yoki suv omboridagi oqim bo'ylab dimlash inshootiga tiralgan yuqori oqimi (yuqori b'ef) sathi yoki quyi oqim (pastki b'ef) sathi
Bosh suv olish inshooti	Suv manbaidan nasos stansiyaga yoki GESga suv olishni ta'minlaydigan inshoot
Bosim:	Qandaydir yuzaga ta'sir qiluvchi kuch:
- bug'ga aylanish	Suvni ma'lum haroratida bug'ga aylanish jarayoni boshlanadigan bosim;
- vakuummetrik	- atmosfera bosimidan kichik bosim;
- manometrik	- atmosfera bosimidan oshiq bosim;
- atmosfera	- dengiz sathining 0 belgisidagi bosim.
Bino karkasi	Bir – biri bilan qattiq mahkamlangan yopma ustun va balkalar (temir beton yoki metall)
Bino tom yopmasi	Yig'ma yopma temir beton plitalariga to'shalgan qatlamli yopma.
Bosimli quvur	Nasosdan chiqayotgan suvni, bosimli hovuzga barqaror uzatishni ta'minlaydigan quvur.
Boshqarish pulti	Nasos stansiyasini boshqarish uchun maxsus jixozlangan xona
Bosimli isrofi	Suyuqliklarni oqim bo'ylab mahalliy va uzunlik bo'yicha har xil qarshiliklarni (to'siqlarni) engib o'tish uchun sarflangan energiya(bosim)ning bir qismi

«V»

Val(gorizontal yoki vertikal):	Gorizontal yoki vertikal o'rnatilga hamda kuch manbasi ta'sirida tayanchlarda aylanuvchi va aylanma harakatni qabul qiluvchi manbaga uzatuvchi sterjen:
- nasos vali	elektrodivigateldan olayotgan aylanma harakatni nasos ish g'ildiragiga uzatuvchi sterjen;
- gidroturbina vali	- gidroturbina ish g'ildiragidan olayotgan aylanma harakatni generatorga uzatuvchi serjen.

Vakuum	Atmosfera bosimidan kichik bo'lgan havo bosimi.
Vattmetr	Elektr toki quvvatini o'lchash asbobi.
Vtulka	O'qiy nasos parraklari maxkamlanadigan kalta metall quvur.
Vakuum buzish klapani	Sifonli suv chiqargich quvurning yuqori qismiga o'rnatiladigan, nasos agregati birdan o'chib qolganda mashina kanalidagi suvni orqaga qaytmaligi uchun sifonga havo kiritadigan moslama.
<u>«G»</u>	
GESning agregati	Gidrogenerator va uni harakatga keltiruvchi gidroturbinalar yig'indisi yoki suv energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi agregat
Gidravlik turbinaning so'rib olish balandligi	Gidravlik turbinaning o'rnatish sathi bilan pastgi bev suv sathlari orasidagi masofa
Gidravlik mashina	Ishi suyuqlik (suv) bilan bog'langan mashina
Gidravlik turbina:	Suvning kinetik va potensial energiyasini mexanik energiyaga aylantiruvchi gidravlik dvigatel
- vertikal	- vertikal valli gidravlik turbina;
- gorizontal	- gorizontal valli gidravlik turbina.
Gidroagregat	Gidroturbina va gidrogenerator majmuasi
Gidroakkumulyasion elektrostansiya	Quyi befdan yuqori befga ko'tarilgan suvda ishlovchi gidroelektrostansiya.
Gidravlik taran	Suyuqlikning gidravlik zarb energiyasidan foydalanib suv ko'taruvchi gidravlik mashina
Gidroelektrostansiya (GES)	Suv energiyasini elektr energiyasiga aylantirishga muljallangan inshootlar, uskunalar va jihozlar majmui
Gidroenergetika	Suv energiyasidan foydalanish bilan shug'ullanuvchi fan va texnika soxasi
Gidroenergetik inshootlar	Asosan, suv energiyasidan foydalanishga muljallangan gidrotexnika inshootlari.
Gidromodul	1 ga sug'oriladigan maydonga 1 sek. da uzatiladigan suv sarfi, l/s.ga
Grafik:	Argument- X va ordinata- U bilan chegaralangan tekislik:
- suv iste'mol qilish	- vegetatsiya davrida aniq sug'orish maydonidagi ekinlarning kunlar va oylar bo'yicha iste'mol qiladigan suv sarfining grafik ko'rinishi;
- suv uzatish	- nasos stansiyasi(qurilmasi)ning vegetatsiya davrida aniq sug'orish maydonidagi ekinlarga kunlar va oylar bo'yicha uzatayotgan suv sarfining grafik ko'rinishi;
- qaytarilish	- vegetatsiya davrida aniq sug'orish maydoni-dagi ekinlarning kunlar va oylar bo'yicha iste'mol

- yig'ma	qiladigan suv sarfining katta miqdordan kichik miqdor bo'yicha qurilgan grafigi;
Gidravlik turbinaning mumkin bo'lgan so'rib ketish balandligi	- har xil turdagi nasoslarni tanlash uchun Q_n va N_n koordinatalarda qurilgan grafik.
Gidravlik turbina ish g'ildiragi kamerasi	Gidravlik turbinaning berilgan rejim uchun ekspluatatsiya xarakteristikasida ko'rsatilgan FIK kafolatlangan so'rib ketish balandligi.
Gidravlik turbinaning tez yurarlik koeffitsienti	Ichida ish g'ildiragi joylashgan o'qiy yoki diagonal gidravlik turbinaning suv oqib o'tadigan qismi elementi
Gidravlik turbinaning yo'naltiruvchi moslamasi	1 m bosimda, 1 ot kuchi (0,736 kVt) miqdorida quvvat ishlab chiqaradigan gidravlik turbinaning aylanish chastotasi.
Gidravlik turbinaning bosimi:	Parraklarni aylantirish hisobiga, gidravlik turbinadagi oqim aylanishini va sarfini boshqaruvchi gidravlik turbinaning ishchi qismi.
-hisob	Spiral kamera kirishda va so'rib ketish quvuridan chiqishdagi suvning massa birligiga bog'liq energiya-lar farqi:
-maksimal	Gidravlik turbinaning nominal quvvat ishlab chiqarayotgandagi eng kichik bosimi;
-minimal	Turbinani ekspluatatsiya qilish va uzoq vaqt ishonchli ishlashi ta'minlash uchun ruxsat berilgan eng katta bosim;
Gidravlik turbina yo'naltiruvchi moslamasining ochiqligi	Turbinani ekspluatatsiya qilish va uzoq vaqt ishonchli ishlashi ta'minlash uchun ruxsat berilgan eng kichik bosim.
Gidravlik turbinani o'rnatish sathi	Gidravlik turbina yo'naltiruvchi moslamasining yopiq holatidan qo'shni parraklari orasidagi eng kichik masofa yoki parraklarni burilish burchagi
Gidravlik turbinaning so'rib ketish quvuri	Vertikal gidravlik turbina yo'naltiruvchi moslamasining va gorizontal gidravlik turbina o'qining o'rta tekisligi sathi.
Gidravlik turbinaning keltirilgan suv sarfi	Suvni ish g'ildiragidan olib ketish uchun mo'ljallangan va oqimning kinetik energiyasini tiklaydigan, reaktiv gidravlik turbinaning suv oqib o'tadigan qismi elementi
Gidravlik turbinaning keltirilgan aylanishlar chastotasi	Ish g'ildiragi diametri 1 m va 1 m bosimda ishlayogan gidravlik turbinaning suv sarfi
Gidravlik turbinaning keltirilgan quvvati	Ish g'ildiragi diametri 1 m va 1 m bosimda ishlayogan gidravlik turbinaning aylanishlar chastotasi
Gidralik turbinaning ish g'ildiragi	Ish g'ildiragi diametri 1 m va 1 m bosimda ishlayogan gidravlik turbinaning quvvati
	Oqim energiyasini mexanik energiyaga aylantiruvchi gidravlik turbinaning ishchi qismi.

Gidravlik turbinaning spiral kamerasi	Yo'naltiruvchi moslamaga suv olib kelishga mo'ljallangan, bir qismi spiral shakliga ega bo'lgan gidravlik turbinaning suv oqib o'tadigan qismi elementi.
Gidravlik turbinaning statori	Gidravlik turbinaning suv o'tadigan qismini ko'tarib turuvchi profillangan kolonna
Gidravlik turbina spiral kamerasining qamrash burchagi	Gidravlik turbina spiral kamerasining spiral qismini chegaralagan meridian tekisliklar orasidagi burchak
Gidravlik turbinaning universal xarakteristikasi	FIK, kavitatsiyaning kritik koeffitsienti, yo'naltiruvchi moslamaning ochiqqligi va gidravlik turbina ish g'ildiragi parraklarning o'rnatilish burchaklarining keltirilgan suv sarfi hamda aylanish chastotasi orasidagi bog'lanishni aniqlovchi izochiziqlar yig'indisi.
Gidravlik turbinaning ekspluatatsion xarakteristikasi	F.I.K va mumkin bo'lgan so'rib ketish balandligining gidravlik turbinaning bosim va quvvatiga nisbatan bog'lanishni aniqlovchi izochiziqlar yig'indisi.
<u>«D»</u>	
Diagonal gidravlik turbina	Ish g'ildiragida suv konus sirtiga yaqin tekislikda harakatlanayotgan gidravlik turbina
<u>«E»</u>	
EFK (erdan foydalanish koeffitsienti)	Sug'orish maydoni nettoni xo'jalikning umumiy maydoniga nisbati
<u>«I»</u>	
Ishchi g'ildirak parragi:	Suyuqlikka energiya uzatuvchi, va silindrik sirtga ega bo'lgan turbinaning asosiy qismi:
- qattiq maxkamlangan	-vtulkaga ma'lum burchak qiyaligida maxkamlangan parraklar;
- parraklari buriluvchan	-vtulkaga o'z o'qi atrofida aylanadigan qilib o'rnatilgan hamda turbinaning hisob suv sarfi va bosimini o'zgartira oladigan parraklar.
Ishchi g'ildirak o'qi belgisi	Ishchi g'ildirak aylanish markazidan o'tgan gorizontall tekislik sathi.
Ishchi nuqta	Maksimal FIKda nasosning optimal suv sarfi va bosimiga to'g'ri keluvchi nasos xarakteristikasidagi nuqta
Ishchi g'ildirak	Suyuqlikka mexanik energiyani uzatuvchi, parraklari egilgan g'ildirak
<u>«K»</u>	
Keltirilgan xarajatlar	Me'yoriy qoplash muddatidagi kapital qo'yilma va yillik ekspluatatsion xarajatlar yig'indisi

Kapital qo'yilma	GES yoki nasos stansiyasining qurilish xarajatlari
Kavitatsiya extiyoti	Normal atmosfera bosimidan kam bosim miqdori
Kapsulali gidravlik turbina	Pryamotochnaya gidravlicheskaya turbina, yalyayumayasya privodom generatora, zaklyuchennogo v kapsulu, obtekaemuyu vodo

«Q»

Quvvat:	Bir birlik vaqt ichida bajarilgan ish, kVt:
- nasos	- nasos foydali quvvatining iste'mol quvvatiga nisbati;
- elektrodvigatel	- nasosga elektrodvigateldan uzatilayotgan foydali va iste'mol quvvatlari;
- foydali	- nasosning suv sarfi 0-nolga teng bo'lganda elektrodvigateldan uzatilayotgan quvvat;
- sarflangan (valdagi)	- nasos agregatidagi energiya isroflarini hisobga olib nasosga uzatilayotgan quvvat;
- nasos stansiya	- nasos stansiyasidagi ishchi va zaxira nasoslarga ajratilgan quvvatlar yig'indisi.
Quvurlar chizig'i soni	Quvurlar soni
Quvur:	Suyuqlik va gazlarni o'tkazuvchi aylana shaklidagi material:
- so'rish	Pastki b'efdagi suvni nasosning kirish patrubkasiga uzatadi;
- bosimli	Nasosning chiqish patrubkasidan chiqayotgan suvni yuqori b'efdagi bosimli basseyniga uzatadi.
Qoplash muddati	Kapital qo'yilmalarni qoplash muddati
Quvurlarning ochiq tayanchlari:	Quvurlar yotqiziladigan beton konstruksiya
- ankerli	Yotqiziladigan quvurlarni maxkam ushlab turadigan beton konstruksiya
- oraliq	Ko'ndalang zo'riqlashlarni qabul qiladigan ankerli tayanchlar o'rtasiga o'rnatiladigan beton konstruksiya.

«M»

Mashinali suv ko'tarish	Nasos (gidravlik mashina) yordamida pastki sathdan yuqori sathga suv ko'tarish
Mashinali sug'orish - gidrotexnik bo'g'ini	Sug'orish belgisiga suvni nasos bilan ko'tarishni ta'minlaydigan inshootlar tarkibi
Manometr	Atmosfera bosimidan ortiqcha bosimni o'lchaydigan asbob
Mashinali kanal	Nasos bilan suv uzatilayotgan kanal
Montaj maydoni	Asosiy agregatlarni yig'ish, qismlarga ajratish, ta'mirlash ishlari bajariladigan nasos stansiyasi binosining qismi.

«N»

Nasos:	Dvigateldan energiya oluvchi va uni suyuqlikning gidravlik energiyasiga aylantiruvchi gidravlik mashina:
- dinamik	-nasosda suyuqlikni harakati kamerada kuch ta'sirida ro'y beradi;
- parrakli	-energiyani o'zgarishi, suv oqimi va ishchi g'ildirak parraklarining birgalikdagi harakati natijasida ro'y beradi;
- hajmiy	-suyuqlik, kamera hajmining o'zgarishi hisobidan harakatga keladi;
- markazdan qochma	-suyuqlik, ishchi g'ildirakning aylanishidan hosil bo'lgan markazdan qochma kuch xisobidan harakatga keladi;
- o'qiy	-suyuqlik, ishchi g'ildirak parragini oqib o'tishidan hosil bo'lgan ko'tarish kuchi hisobidan o'qiy yo'nalishda harakatga keladi;
- diogonal	-suyuqlik, ishchi g'ildirak parragini oqib o'tishidan hosil bo'lgan ko'tarish kuchi hisobidan diogonal yo'nalishda harakatga keladi;
- porshenli	-suyuqlik, kamerada porshenning ilgari lanma-qaytma harakati tufayli harakatga keladi;
- shesternali	-suyuqlik, kamerada tishli g'ildiraklarning aylanma harakati tufayli harakatga keladi;
- erlift	-suv va havo aralashmasining hajmiy og'irliklari farqi hisobidan suv yuqoriga ko'tariladi;
- oqimli	-suyuqlik oqimi kinetik energiyasidan foydalanib, kamerada vakuum hosil qilinadi va unga boshqa suyuqlik suriladi.
- vakuum	-aralashgan oqim ortiqcha bosimga ega kamerada, havoni boshqa joyga o'tkazishga yordam qiladigan ekssentrik joylashgan g'ildirakli nasos;
- vertikal	-vertikal o'rnatilgan;
- gorizontal	-gorizontal o'rnatilgan;
- markazdan qochma konsol	-gorizontal valning oxirida joylashgan bir tomonlama suv kiruvchi ishchi g'ildirak;
- markazdan qochma ikki tomonlama suv kiruvchi markazdan qochma ko'p pog'onali markazdan qochmavertikal	-ikki tomonlama suv kiruvchi ishchi g'ildirak;
- o'qiy propellerli	-bir tomonlama suv kiruvchi, bir nechta ishchi g'ildirak;
o'qiy parraklari buriluvchan	-vertikal valning oxirida joylashgan bir tomonlama suv kiruvchi ishchi g'ildirak;
	- parraklari qattiq mahkamlangan propeller ko'rinishidagi ishchi g'ildirak;
	-parraklari o'z o'qi atrofida buraluvchi propeller ko'rinishidagi ishchi g'ildirak;

Nasos agregati:	Nasos dvigateli va uni harakatga keltiruvchi dizel yoki elektrodvigatellar yig'indisi yoki energiyani suv energiyasiga aylantiruvchi agregat
-ishchi nasos agregati	- zarur suv sarfini uzatuvchi asosiy agregat;
-zaxira nasos agregati	- falokat yuz berganda yoki asosiy agregat ta'mirlanayotganda qo'llanuvchi, zaxira agregat;
Nasosning so'rish balandligi:	Nasosning ish g'ildiragi markazidan pastgi bef minimal suv sathigacha bo'lgan masofa:
- musbat	- nasos ish g'ildiragi markazi pastgi bef minimal suv sathidan pastda joylashganda;
- manfiy	- nasos ish g'ildiragi markazi pastgi bef minimal suv sathidan yuqorida joylashganda.
Nasos qismlari	Nasos qismlari tarkibi
Nasos stansiya binosi: -	asosiy va yordamchi jixozlar joylashgan bino:
- chuqurlashtirilmagan	- musbat so'rish balandlikka ega bo'lgan, gorizontal markazdan qochma nasoslar va elektrodvigatellar joylashgan, er ustiga qurilgan bino;
- chuqurlashtirilgan	- manfiy so'rish balandlikka ega bo'lgan, markazdan qochma gorizontal nasoslar va elektrodvigatellar o'rnatilgan, er osti va er ostidan iborat bo'lgan bino;
- blokli	- manfiy so'rish balandlikka ega bo'lgan, er osti qismiga vertikal markazdan qochma yoki o'qiy nasoslar o'rnatilgan hamda er usti qismiga elektrodvigatellar o'rnatilgan bino;
- kamerali	- manfiy so'rish balandlikka ega bo'lgan, er osti qismiga suv sarfi $2 \text{ m}^3/\text{s}$ gacha bo'lgan o'qiy nasoslar o'rnatilgan hamda er usti qismiga elektrodvigatellar o'rnatilgan bino.
Nasosni sinash	Nasosning xarakteristikalarini bosim, quvvat, FIK va kavitatsiya ehtiyoitini sarfga bog'lanishini olish maqsadida nusxa yoki asl nasoslarda o'tkaziladigan sinovlar
Nasoslar kavitatsiyasi	Suyuqlikning mavjud haroratida bosim, bug' hosil bo'lish darajasigacha pasayganda, nasosning ichida suv bug'i bilan to'lgan bo'shliqlarning hosil bo'lish jarayoni
Nasos korpusi	Korpus spiral yoki tirsak ko'rinishida bajarilgan bo'lib, ishchi g'ildirakdan suvni bosimli quvurgacha uzatishga xizmat qiladi
Nasos katalogi	Nasosning ma'lum sarfi, bosimi va quvvatiga to'g'ri keluvchi nasoslar tarkibi. Nasos va elektrodvigatel turi, uning o'lchamlari va sxemasini tanlash uchun xizmat qiladi

Nasosning bosimi:	Nasosning kirish va chiqishlaridagi energiya o'zgarishining farqi:
- geometrik	-yuqori va quyi b'ef minimal sathlari farqi;
- manometrik	Yuqori va quyi b'ef sathlari farqi hamda jihoz va inshootlarda isrof bo'lgan bosimlar yig'indisi.
Nasos agregati -	Nasos va dvigatel (elektr yoki dizel) yig'indisi.
Nasos stansiyasi:	Iste'molchiga suv uzatishni ta'minlaydigan gidrotexnik inshootlar va jihozlar kompleksi.
- statsionar	-doimiy o'rnatilgan-ko'chmas;
- ko'chma	-turli nuqtalarga ko'chirilib o'rnatiladigan;
-suzib turuvchi	- suv sathi juda katta miqdorda (4-50 m va katta) o'zgaradigan suv manbalariga o'rnatiladigan;
- sug'orish	-sug'orishga suv uzatadigan;
- zax qochirish	-er osti suvlari sathini pasaytiruvchi;
- qishloq xo'jaligi suv ta'minoti	-qishloq xo'jaligini suv bilan ta'minlash uchun suv uzatadigan;
-yopiq sug'orish tarmog'i uchun	-yopiq sug'orish tarmog'iga suv uzatadigan.
Nasos kameralari	Suvni nasosga keltirishni va nasosni mustaqil ishlashini ta'minlaydi
Nasos markasi	Maksimal FIK dagi nasos turi, sarfi, bosimi va geometrik o'lchamlarini ko'rsatuvchi nasos belgisi
NS jihozlari:	Asosiy va yordamchi:
- asosiy	-asosiy nasoslar va dvigatellar;
- yordamchi	-asosiy jihozlarni normal ishlashini ta'minlaydigan jihozlar majmuasi; nasos stansiyasining normal, falokatsiz ish rejimida ishlashini ta'minlovchi quyidagi jihozlar majmuasi: mexanik jihozlar; texnik suv bilan ta'minlash tizimi; drenaj va suv chiqarib tashlash tizimi; yog' bilan ta'minlash tizimi; pnevmatik tizim; vakuum tizimi; yong'inga qarshi tizim; xo'jalik-ichimlik suvi bilan ta'minlash tizimi; kanalizatsiya tizimi; shamollatish va isitish tizimi; nazorat-o'lchov asboblari tizimi.
- yuk ko'tarish	-jihozlarni, ularni qismlarini va boshqalarni ko'tarish—ushirish va ko'chirish uchun foydalaniladigan mexanizm.
- mexanik	-zatvorlar, panjaralar, zadvijkalar va boshqalar
Nasos stansiyalari inshootlar bug'uni	Suvni manbadan olib, uni nasos stansiyasigacha uzatishni hamda yuqoriga ko'tarib iste'molchiga etkazib berishni ta'minlovchi gidrotexnik inshootlar, mexanik, gidromexanik va elektrotexnik jihozlar yig'indisi.
Nasos stansiyasi	Nasos stansiyasi bilan ma'lum bir davrda (soat,

uzatayotgan suv hajmi	kun, oy, yil, ko‘p yil) uzatayotgan suv miqdori
Nasoslarni parallel ulash	Umumiy bosimli quvuriga parallel suv uzatuvchi ikkita (yoki ko‘proq) nasos agregatlari
Nasoslarni ketma-ket	Umumiy bosimli quvuriga ketma-ket suv uzatuvchi ikkita (yoki ko‘proq) nasos agregatlari
Nasosni boshqarish:	Nasos qurilmasi(stansiyasi)ning suv sarfi va bosimini o‘zgartirish:
- sonli	Nasos va quvurlar konstruksiyasini o‘zgartirmasdan ularning xarakteristikalarini o‘zgartirish
- sifatli	Nasos va quvurlar konstruksiyasini o‘zgartirish orqali ularning xarakteristikalarini o‘zgartirish
Nasos agregatining sarfi	Birlik vaqt ichida nasos agregati uzatayotgan suv hajmi
Nasos stansiyasining sarfi	Birlik vaqt ichida nasos stansiyasidagi barcha nasos agregatlari bilan uzatilayotgan suv hajmi
Nasos stansiyasining iste‘mol elektroenergiyasi	Yil davomida nasos stansiyasini ishlashi uchun zarur elektroenergiya
Nasos ishchi g‘ildiragini qirqish	Nasos ishchi g‘ildiragi diametrini kichraytirish
Nasos va nasos stansiyasining ko‘rsatkichlari	Nasos va nasos stansiyasining ishini xarakterlaydigan qiymatlar

«P»

Pátrubka:	Nasoslarning suyuqlik va gazlarni olib kelish va olib ketish qismlariga ulangan kalta quvur:
- so‘rish patrubkasi	- so‘rish quvuridan nasos ishchi g‘ildiragiga suvni barqaror keltirishni ta‘minlaydigan nasos bilan bir butun dumaloq qirqimdagi kalta quvur;
- bosim patrubkasi	-nasos ish g‘ildiragidan chiqayotgan suvni bosim quvuriga barqaror uzatilishini ta‘minlaydigan nasos bilan bir butun dumaloq qirqimdagi kalta quvur.
Porshen (plunjer)	Suyuqlikni silindrdan haydaydigan harakatdagi sterjen
Podshipnik	Valni aylanishiga ko‘makchi tayanch
Parraklari buriladigan gidravlik turbina	Ish g‘ildiragi parraklari o‘z o‘qi atrofida buraladigan o‘qiy yoki diagonal gidravlik turbina.
Propellerli gidravlik turbina	Ish g‘ildiragi parraklar qo‘zg‘olmas qilib mahkamlangan o‘qiy yoki diagonal gidravlik turbina.
-	

«R»

Radial-o‘qiy gidravlik turbinasi	Ish g‘ildiragida suv egri chiziqli aylanuvchan yuza bo‘ylab harakatlanib, oqim yo‘nalishini

radial yoʻnalishdan oʻqiy yoʻnalishga
oʻzgartiradigan gidravlik turbina

«S»

Suv taʼminoti armaturasi	Suv taʼminoti tormogʻi va inshootlarida yopish, sozlash va aralashtirish moslamalari
Suv energiyasi:	Suv oqimining potensial va kinetik energiyalar yigʻindisi:
- potensial	- suvning tinch turgan holatidagi energiyasi.
- kinetik	- suvning harakatdagi energiyasi.
Suv oʻlchagich	Suv miqdorini oʻlchaydigan asbob
Suv koʻtarish balandligi:	Nasos stansiya yuqori va pastki bʻef suv sathlari farqi, metrda:
- geometrik	- suv olish manbasidagi minimal suv sathidan mashina kanalidagi suv sathigacha boʻlgan masofa;
- manometrik	- geometrik suv koʻtarish balandligi va nasos qurilmasi barcha jihozlaridagi bosim yoʻqotishlari yigʻindisi.
Suv tashlagich	Suvni tashlash amalga oshiriladigan inshoot. Suv sarfini oʻlchash uchun ham foydalansa boʻladi.
Suv olish inshooti:	Suv manbasidan (daryo, kanal va boshqalar) suv olishni taʼminlaydigan gidrotexnik inshoot:
- nasos stansiyasi binosi bilan qoʻshilgan	- nasos stansiyasi binosi bilan bir butun qilib qurilgan suv olish inshooti;
- nasos stansiyasi binosidan ajratilgan	- alohida kanal yoki quvur bilan nasos stansiyasidan ajratilgan suv olish inshooti;
- oʻzandagi	- daryo yoki kanal oʻzanida joylashgan suv olish inshooti;
- qirgʻoqdagi	- daryo yoki kanal qirgʻogʻida joylashgan suv olish inshooti.
Suv chiqargich:	Bosimli quvurdan chiqayotgan suvni qabul qiluvchi gidrotexnik inshoot
- tambali	Klapanli, droselli yoki tez tushuvchi tamba bilan jixozlangan va bosimli quvurdan chiqayotgan suvni qabul qiluvchi gidrotexnik inshoot
- sifonli	Sifon koʻrinishida bajarilgan, bosimli quvurdan chiqayotgan suvni qabul qiluvchi gidrotexnik inshoot.
- oqib tushuvchi rezervuar suv tashlamali	Vertikal devorli sigʻimga bosimli quvurdan suv chiqarib, u orqali suv tushuruvchi inshoot.
Suv keltiruvchi inshoot	Nasos stansiyasiga suv keltiruvchi inshoot (ochiq kanal, quvur)
Suv xoʻjalik hisobi	Nasos stansiyasi xisob suv sarfini, bosimini, nasolar sonini va bitta nasos suv sarfini aniqlovchi hisoblar

So‘rish quvuri	Nasos ish g‘ildiragiga suv uzatuvchi quvur
Suv quyish teshigi	Nasosga suv quyish va nasosdan havo so‘rib olish amalga oshiriladigan nasos korpusidagi teshik
Sifon	Bosim quvuridan bosimli basseynga suv uzatuvchi egilgan quvur

«T»

Tezyurarlik koeffitsienti	Bosim 1 m va quvvat 1 ot kuchida suv sarfi 75 l/s ga teng bo‘lgandagi nasos ishchi g‘ildiragi aylanish chastotasi
To‘g‘ri oqimli gidravlik turbina	Suv o‘q bo‘ylab uzatiladigan va olib ketiladigan o‘qiy gidravlik turbina.

«O’»

O‘rnatilgan quvvati	Gidroenergetik ob’ektlardagi barcha agregatlar quvvatlarining yig‘indisi

«F»

FIK:	Foydali ish ulushini inobatga oluvchi koeffitsient:
- nasos	-suv uzatuvchi nasos quvvatini elektrodvigatel quvvatiga nisbati;
- dvigatel	-foydali quvvatni, sarflangan quvvatga nisbati;
- nasos stansiya	-nasos, dvigatel, uzatma va tashqi tarmoq FIKlarining ko‘paytmasi;
- dvigatel	-foydali quvvatni, sarflangan quvvatga nisbati
- nasos stansiya	-nasos, dvigatel, uzatma va tashqi tarmoq FIKlarining ko‘paytmasi;
- mashinali sug‘orish	-suv manbasidan, nasos stansiyagacha masofada bosim yo‘qotilishi ulushini inobatga oluvchi koeffitsient;
- qulay nasos	-maksimal nasos FIK va unga to‘g‘ri keladigan nasosning suv sarfi va bosimi.

«H»

Harorat – kompensatori	Quvurni bo‘ylama va ko‘ndalang deformatsiyasini qabul qiluvchi moslama

«CH»

Cho‘michli gidravlik turbina	<u>Ish g‘ildiragi parraklari cho‘mich shakliga ega, aktiv gidravlik turbina.</u>

«E»

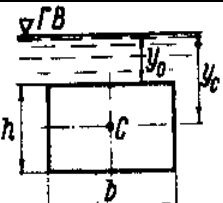
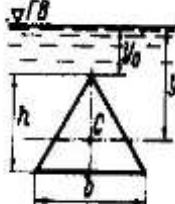
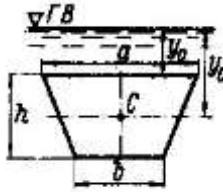
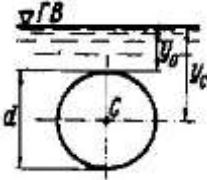
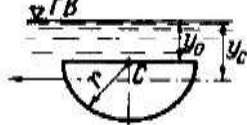
Ekspluatatsion xarajatlar	Yil davomida energetik ob’ektlarni ish holatida saqlash uchun sarflanadigan xarajatlar

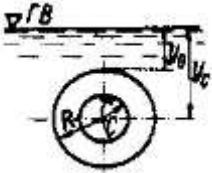
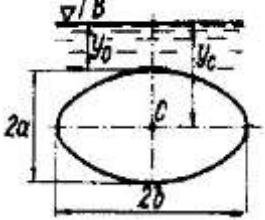
ILOVA

Grek alfaviti

α - alfa	θ - teta	ρ - ro	Γ - gamma
β - beta	κ - kappa	σ - sigma	Δ - delta
γ - gamma	λ - lambda	τ - tau	Θ - teta
δ - delta	μ - myu (mi)	ϕ - fi	Λ - lambda
ε - epsilon	η - nyu (ni)	χ - xi	Σ - sigma
ζ - dzeta	ξ - ksi	ψ - psi	Φ - fi
η - eta	π - pi	ω - omega	Ψ - psi
			Ω - omega

I_C Inertsia momenti (shaklning S og'irlik markazidan o'tuvchi gorizontal o'qqa nisbatan),
bunda, y_C -og'irlik markaz koordinatasi, ω tekis shakllar yuzasi.

Shakllar ko'rinishi, belgilanishlar	I_C	y_C	ω
	$\frac{bh^2}{12}$	$y_0 + \frac{h}{2}$	bh
	$\frac{bh^3}{36}$	$y_0 + \frac{2}{3}h$	$\frac{bh}{2}$
	$\frac{h^3(a^2 + 4ab + b^2)}{36(a+b)}$	$y_0 + \frac{h(a+2b)}{3(a+b)}$	$\frac{h(a+b)}{2}$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$y_0 + \frac{d}{2}$	$\frac{\pi d^2}{4}$
	$\frac{9\pi^2 - 64}{72\pi}$	$y_0 + \frac{4r}{3\pi}$	$\frac{\pi r^2}{2}$

	$\frac{\pi(R^2 - r^4)}{4}$	$y_0 + R$	$\pi(R^2 - r^2)$
	$\frac{\pi a^3 b}{4}$	$y_0 + a$	πab

I jadval

Suvning kinematik yopishqoqlik koeffitsienti ν , cm^2 / sek , haroratga bog'liq xolda

t^0	ν , cm^2 / sek	t^0	ν , cm^2 / sek	t^0	ν , cm^2 / sek
1	0,017321	11	0,012740	22	0,009892
2	0,016740	12	0,012396	24	0,009186
3	0,016193	13	0,012067	26	0,008774
4	0,015676	14	0,011756	28	0,008394
5	0,015188	15	0,011463	30	0,008032
6	0,014726	16	0,011177	35	0,007251
7	0,014289	17	0,010888	40	0,006587
8	0,013873	18	0,010617	45	0,006029
9	0,013479	19	0,010356	50	0,005558
10	0,013101	20	0,010105	55	0,005147
				60	0,004779

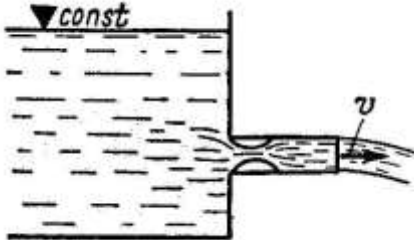
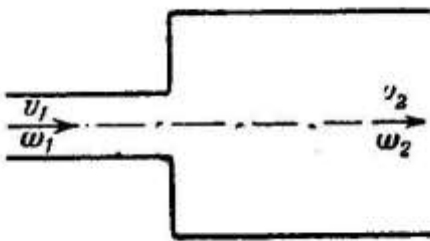
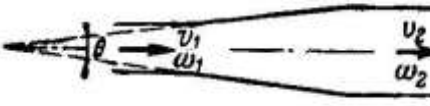
II jadval

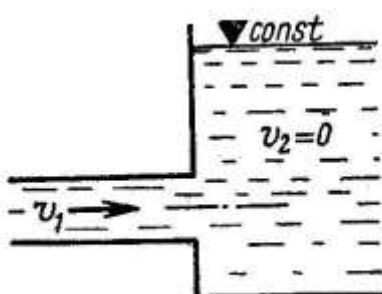
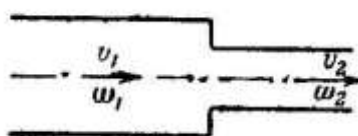
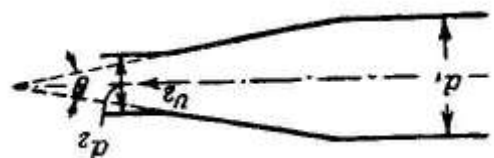
g'adir-budirlik koeffitsienti (n) ning qiymati

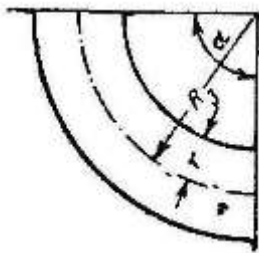
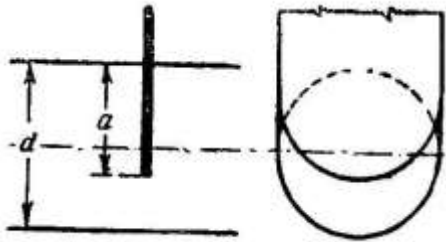
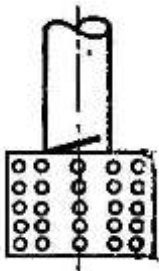
Daraja	Devorlar turi	n	$1/n$
I	O'ta silliq sirtlar; emal bilan qoplangan sirtlar	0,009	111
II	Yaxshio'rnatilgan, o'tao'tkirtaxta. Toza tsementdan yaxshi suvoq	0,010	100
III	Yaxshitsementlisuvoq (1/3 qumdan). Yaxshiyotqizilganyokiulanganyangisopol, cho'yanvatemir quvurlar. Qirralitaxta	0,011	90,9
IV	Yaxshio'rnatilgan qirrasiztaxta. O'rtachasharoitdagisuvo'tkazgich quvurjudayaxshibetonlangan; Sezilarsizinkrustatsiyalangan, judatozasuvoquvchi quvurlar, judayaxshibetonlangan	0,012	83,3
V	Yaxshig'ishtli, yaxshisharoitdagiyupqataxtaliterish. O'rtasharoitdagitarnovquvurlar, birnechaifloslangansuvo'tkazgichquvurlar	0,013	76,9
VI	Ifloslangan quvurlar (suvo'tkazgichvatarnovli) o'rtasharoitdabetonlangan quvurlar	0,014	71,4
VII	O'rtachag'ishtliterish, o'rtasharoitdagiyupqatoshdanqoplash	0,015	66,7

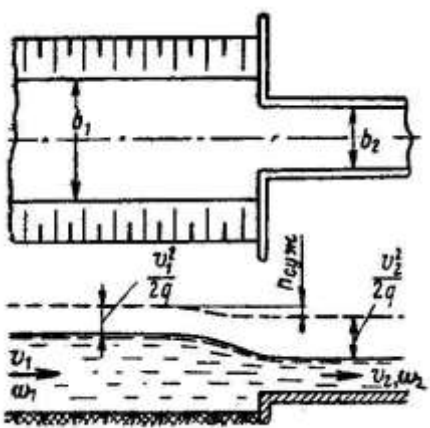
Daraja	Devorlar turi	<i>n</i>	1/ <i>n</i>
	. Sezilarliifloslangantarnovlar. Yog‘ochreykalarbo‘yichabrezent		
VIII	Yaxshitoshdevor, eski (harob)g‘ishtterish; nisbatan qo‘polbetonlangan. Judasilliq judayaxshiishlovberilgan qoyatosh	0,017	58,8
IX	Qalinmustaxkamgilqavatbilanqoplangankanallar, zichsog‘tuproqlikanallarvazichmaydashag‘alli, gilbilanqoplangan.	0,018	55,6
X	O‘rtacha (qoniqarli)toshdevor. Toshytqizilganyo‘l. Qoyada juda toza yuvilgan kanallar. Gil qoplangan zich yerdagi, zich shag‘alli, toshli kanallar (o‘rtacha xolda)	0,020	50,0
XI	Zichloylikanallar. Birtekisbo‘lmagan (uzlukli) gilqoplanganerde, shag‘al, toshlikanallar. O‘rtadan yuqori sharoitda tamirli va saqlangan, katta tuproq kanallar	0,0225	44,4
XII	Yaxshiquruqterish. Yaxshidankamroqo‘rtachasharoitdasaqlanganvaremontlikat tatuproqkanallar. Judayaxshisharoitdagidaryolar (chuquryuvilishlarsizvao‘yilishsiz, erkinoqimlitozato‘g‘rio‘zan)	0,025	40,0
XIII	Tamirvasaqlashsharoitio‘rtameyordanpast – katta; o‘rtasharoitda – kichiktuproqkanallar	0,0275	36,4
XIV	Nisbatanyomonsharoitdagituproq kanallar; sezilarli o‘tlar o‘sgan; mahalliy o‘yilgan chuqurchalar	0,030	33,3
XV	Judayomonsharoitdagikanallar. Nisbatanyaxshisharoitdagidaryolar, lekinbazimikdordatoshvasuvo‘tlariBilan	0,035	28,6
XVI	Sezilarliyomonsharoitdagikanallar (o‘zanbo‘ylabo‘pirilganvayuvilgan; kamishlaro‘sgan quyuq ildizlar; yiriktoishlarvax.) bora-boradaryooqimisharoitiyomonlashadi (boshqapunktlarganisbatan)	0,040 va ko‘p	25 va kam

Mahalliy qarshiliklar

Qarshiliklar sxemasi	Yoʻqolishlar koeffitsienti										
Quvurga kirish $h_{max} = \zeta_{kup} \frac{v^2}{2g}$ 	Oʻtkir qirrali boʻlganda $\zeta_{kup} = 0,50$ erkin kirish va aylanali kirishda $\zeta_{kup} = 0,20$ oʻta erkin kirishda $\zeta_{kup} = 0,05$										
Keskin kengayish $h_{k.k} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \zeta_{k.k} \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_{k.k} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$										
Konik diffuzor $h_\delta = \zeta_\delta \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_\delta = k_\delta \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$ bunda, k_δ – keskinkengayishdagidiffuzordayoʻqolishdan yoʻqolishlarkisminiifodalovchi, oʻlchamsiz koeffitsient <table><tr><td>7,5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>30</td></tr><tr><td>0,14</td><td>0,16</td><td>0,27</td><td>0,43</td><td>0,81</td></tr></table>	7,5	10	15	20	30	0,14	0,16	0,27	0,43	0,81
7,5	10	15	20	30							
0,14	0,16	0,27	0,43	0,81							

Quvurdan chiqish: katta o'lchamdagi idishga, daryo $h_{\text{чик}} = \zeta_{\text{чик}} \frac{v_1^2}{2g}$ 	$\zeta_{\text{чик}} = 1,0$																													
Keskin torayish $h_{\kappa.m} = \zeta_{\kappa.m} \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_{\kappa.m} = f\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$ <table><tr><td>ω_2 / ω_1</td><td>0,01</td><td>0,1 0</td><td>0,2 0</td><td>0,40</td><td>0,60</td><td>0,80</td></tr><tr><td>$\zeta_{\kappa.m}$</td><td>0,50</td><td>0,4 5</td><td>0,4 0</td><td>0,30</td><td>0,20</td><td>0,10</td></tr></table>	ω_2 / ω_1	0,01	0,1 0	0,2 0	0,40	0,60	0,80	$\zeta_{\kappa.m}$	0,50	0,4 5	0,4 0	0,30	0,20	0,10															
ω_2 / ω_1	0,01	0,1 0	0,2 0	0,40	0,60	0,80																								
$\zeta_{\kappa.m}$	0,50	0,4 5	0,4 0	0,30	0,20	0,10																								
Konik konfuzor $h_{\text{коп}} = \zeta_{\text{коп}} \frac{v_2^2}{2g}$ 	<table><tr><th rowspan="2">d_1 / d_2</th><th colspan="5">Burchak</th></tr><tr><th>θ</th><th>10</th><th>20</th><th>30</th><th>40</th></tr><tr><td>$d_1 / d_2 = 1,2$ uchun</td><td>$\zeta_{\text{коп}}^*$</td><td>0,0 4</td><td>0,05</td><td>0,07</td><td>0,08</td></tr><tr><td>$d_1 / d_2 = 2$ uchun</td><td>$\zeta_{\text{коп}}$</td><td>0,0 7</td><td>0,09</td><td>0,12</td><td>0,14</td></tr><tr><td>$d_1 / d_2 = 3$ uchun</td><td>$\zeta_{\text{коп}}$</td><td>0,08</td><td>0,10</td><td>0,14</td><td>0,17</td></tr></table>	d_1 / d_2	Burchak					θ	10	20	30	40	$d_1 / d_2 = 1,2$ uchun	$\zeta_{\text{коп}}^*$	0,0 4	0,05	0,07	0,08	$d_1 / d_2 = 2$ uchun	$\zeta_{\text{коп}}$	0,0 7	0,09	0,12	0,14	$d_1 / d_2 = 3$ uchun	$\zeta_{\text{коп}}$	0,08	0,10	0,14	0,17
d_1 / d_2	Burchak																													
	θ	10	20	30	40																									
$d_1 / d_2 = 1,2$ uchun	$\zeta_{\text{коп}}^*$	0,0 4	0,05	0,07	0,08																									
$d_1 / d_2 = 2$ uchun	$\zeta_{\text{коп}}$	0,0 7	0,09	0,12	0,14																									
$d_1 / d_2 = 3$ uchun	$\zeta_{\text{коп}}$	0,08	0,10	0,14	0,17																									
Quvur burilishi (tirsak) a) aylanasiz tirsak $h_{\text{кол}} = \zeta_{\text{кол}} \frac{v^2}{2g}$ 	<table><tr><th>α^0 burchak</th><th>30</th><th>40</th><th>50</th><th>60</th><th>70</th><th>80</th><th>90</th></tr><tr><td>$\zeta_{\text{кол}}$</td><td>0,2</td><td>0,3</td><td>0,4</td><td>0,55</td><td>0,7</td><td>0,9</td><td>1,10</td></tr></table> $d < 50\text{mm}$ li quvurlar bilan tajriba asosida olingan $\zeta_{\text{кол}}$ qiymati. Diametr oshganda $\zeta_{\text{кол}}$ qiymat kamayadi	α^0 burchak	30	40	50	60	70	80	90	$\zeta_{\text{кол}}$	0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,10													
α^0 burchak	30	40	50	60	70	80	90																							
$\zeta_{\text{кол}}$	0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,10																							

b) aylanali tirsak $h_{a\ddot{u}l} = \zeta_{a\ddot{u}l} \frac{v^2}{2g}$ 	<table><tr><th colspan="6">$\alpha = 90^0$ bo'lganda</th></tr><tr><td>$r / R_{л.б}$</td><td>0,1</td><td>0,2</td><td>0,3</td><td>0,4</td><td>0,5</td></tr><tr><td>$\zeta_{a\ddot{u}l}$</td><td>0,131</td><td>0,138</td><td>0,158</td><td>0,206</td><td>0,294</td></tr><tr><td>$r / R_{л.б}$</td><td>0,6</td><td>0,7</td><td>0,8</td><td>0,9</td><td>1,0</td></tr><tr><td>$\zeta_{a\ddot{u}l}$</td><td>0,440</td><td>0,661</td><td>0,997</td><td>1,408</td><td>1,978</td></tr><tr><td colspan="6">$\alpha \neq 90$ burchak bo'lganda $\zeta_{a\ddot{u}l}$ qiymatini $\alpha / 90$ nisbatga ko'paytirish kerak</td></tr></table>	$\alpha = 90^0$ bo'lganda						$r / R_{л.б}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	$r / R_{л.б}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,440	0,661	0,997	1,408	1,978	$\alpha \neq 90$ burchak bo'lganda $\zeta_{a\ddot{u}l}$ qiymatini $\alpha / 90$ nisbatga ko'paytirish kerak					
$\alpha = 90^0$ bo'lganda																																					
$r / R_{л.б}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5																																
$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294																																
$r / R_{л.б}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0																																
$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,440	0,661	0,997	1,408	1,978																																
$\alpha \neq 90$ burchak bo'lganda $\zeta_{a\ddot{u}l}$ qiymatini $\alpha / 90$ nisbatga ko'paytirish kerak																																					
Kran 	<table><tr><td>a / d</td><td>To'la ochilgan</td><td>$\frac{1}{4}$</td><td>$\frac{3}{8}$</td><td>$\frac{4}{8}$</td></tr><tr><td>$\zeta_{a\ddot{u}l}$</td><td>0,12</td><td>0,26</td><td>0,81</td><td>0,26</td></tr><tr><td>a / d</td><td>$\frac{5}{8}$</td><td>$\frac{6}{8}$</td><td>$\frac{7}{8}$</td><td></td></tr><tr><td>$\zeta_{a\ddot{u}l}$</td><td>5,25</td><td>17,0</td><td>978</td><td></td></tr></table>	a / d	To'la ochilgan	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,12	0,26	0,81	0,26	a / d	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$		$\zeta_{a\ddot{u}l}$	5,25	17,0	978																	
a / d	To'la ochilgan	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$																																	
$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,12	0,26	0,81	0,26																																	
a / d	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$																																		
$\zeta_{a\ddot{u}l}$	5,25	17,0	978																																		
Kran 	<table><tr><td>α^0</td><td>5</td><td>10</td><td>20</td><td>30</td></tr><tr><td>$\zeta_{кр}$</td><td>0,05</td><td>0,29</td><td>1,56</td><td>5,47</td></tr><tr><td colspan="5"></td></tr><tr><td>α^0</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td><td></td></tr><tr><td>$\zeta_{кр}$</td><td>17,3</td><td>52,6</td><td>206</td><td></td></tr></table>	α^0	5	10	20	30	$\zeta_{кр}$	0,05	0,29	1,56	5,47						α^0	40	50	60		$\zeta_{кр}$	17,3	52,6	206												
α^0	5	10	20	30																																	
$\zeta_{кр}$	0,05	0,29	1,56	5,47																																	
α^0	40	50	60																																		
$\zeta_{кр}$	17,3	52,6	206																																		
Setkali qaytma klapan 	$\zeta_{cem} = 10$ Qaytma klapan bo'lmagan xolda $\zeta_{cem} = 5 \div 6$																																				

O'tish uchastkasi bo'lmaganda kanalning keskin torayishi							
	ω_2 / ω_1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	$\zeta_{суж}^*$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
$h_{суж} = \zeta_{суж} \frac{v_2^2}{2g}$		ω_2 – qarshilikdan keyin kanalning tirik kesim yuzasi; $\omega_1 - \omega_2$ – qarshilikkacha kanalning tirik kesim yuzasi;					

IV jadval

Suv o'tkazgich quvurlarda tavsiya etilgan solishtirma sarflar va tezliklar

Ko'rsatkichlar	Diametr d , мм								
	50	75	100	125	150	200	250	300	350
Tavsiya etilgan solishtirma tezlik, m/sec	0,75	0,75	0,76	0,82	0,85	0,95	1,02	1,05	1,10
Tavsiya etilgan chegaraviy sarf, $л/сек$	1,5	3,3	6	10	15	30	50	74	106

IV jadval davomi

Ko'rsatkichlar	Diametr d , мм								
	400	450	500	600	700	800	900	1000	1100
Tavsiya etilgan solishtirma tezlik m/sec	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,53	1,55
Tavsiya etilgan chegaraviy sarf, $л/сек$	145	190	245	365	520	705	920	1200	1475

Квадрат каршилик соҳаси учун K сарф характеристикалари қиймати

$d, мм$	$\omega, дм^2 \cdot 10$	1.м кувур оғирлиги		Ўртача ҳолатдаги кувурлар			Кувурлар янги дўлат ва чўян		
		кг	H (НЬЮТОН)	K, л/сек	K ² /1000	1000/K ²	K, л/сек	K ² /1000	1000/K ²
50	1,963	12	118	8,313	0,0691	14,472	10,10	0,1020	9,804
75	4,418	17	167	24,77	0,6136	1,6297	29,70	0,8821	1,1337
100	7,854	23	226	53,61	2,874	0,34795	63,73	4,061	0,24624
125	12,272	30	294	97,39	9,485	0,10543	115,1	13,248	0,07548
150	17,671	38	373	158,4	25,091	0,03985	186,3	34,708	0,02881
200	31,416	55	539	340,8	116,15	0,00861	398	158,40	0,00631
250	49,087	75	735	616,4	379,9	0,00263	716,3	513,09	0,00195
300	70,686	97	951	999,3	998,6	0,00100	1157	1339	0,747·10 ⁻³
350	96,212	116	1140	1503	2259	0,443·10 ⁻³	1735	3007	0,333·10 ⁻³
400	125,664	142	1392	2140	4580	0,218·10 ⁻³	2463	6066	0,165·10 ⁻³
450	159,043	171	1680	2920	8526	0,117·10 ⁻³	3354	11249	0,889·10 ⁻⁴
500	196,3350	202	1980	3857	14876	0,672·10 ⁻⁴	4424	19563	0,511·10 ⁻⁴
600	282,743	273	2680	6239	38925	0,257·10 ⁻⁴	7131	50851	0,197·10 ⁻⁴
700	384,845	354	3470	9362	87647	0,114·10 ⁻⁴	10674	113934	0,878·10 ⁻⁵
800	502,655	399	3920	13301	176917	0,565·10 ⁻⁵	15132	228977	0,437·10 ⁻⁵
900	636,173	446	4370	18129	328661	0,304·10 ⁻⁵	20587	423825	0,236·10 ⁻⁵
1000	785,398	548	5370	23911	571736	0,175·10 ⁻⁵	27111	735006	0,136·10 ⁻⁵
1100	950,334	661	6480	30709	943043	0,106·10 ⁻⁵	34769	1208888	0,827·10 ⁻⁶
1200	1130,976	918	9000	38601	490037	0,671·10 ⁻⁶	43650	1905323	0,525·10 ⁻⁶

Ўтувчи қаршилиқ соҳасидаги қувурлар ҳисоби учун θ_1 ва θ_2 тузатиш коэффициентлари қиймати



Қурурлар	Коэффи- циент	Тезлик v , м/сек														
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
Ўртача	θ_1	0,84	0,88	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	θ_2	1,35	1,29	1,19	1,14	1,11	1,08	1,06	1,03	1,01	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Янги қўлат ва чўян	θ_1	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
	θ_2	1,35	1,26	1,22	1,18	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02

Қувурлардаги квадрат қаршилиқ соҳаси чегарасига ўйри келадиган тезликлар катталиклари

Қувурлар	Қувурлар диаметри											
	50	100	200	300	400	500	600	1000	1400			
Ўртача янги қўлат ва чўян	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3			
	2,8	3,2	3,5	3,7	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4			

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YHATI

1. **Anderson H.H.** Centrifugal pumps. The trade and technical press Ltd. England, 2001, 314s.
2. **Karelin V.I. Novoderezhkin R.A., Coj V., Mamajonov M.,** Cavitation Erosion in Centrifugal Pumps. Conference Hydro-Turbo, 2002. Brno.
3. **Ostermann K.** Pumpentechnik in der Wasserversorgung. 2. überarb und erw. Aufl. Koln. Muller. 1991. 112 s.
4. **Schroeder K.** Werkstoffabtrag bei turbulenten Spaltströmungen in Pumpen. Diss.Darmstadt. 1996. 138 s.
5. **Wiess K.** Experimentelle Untersuchungen für Teillastströmung bei Kreiselpumpen. Diss. Darmstadt, 1995. 142 s.
6. **Bozorov D.R., Karimov R.M., Kazbekov J.S.** Gidravlika asoslari. T., RFAAK. 2001.
7. **Bozorov D.R., Karimov R.M., Kazbekov J.S., Xidirov S.Q.** Ochiq oʻzanlar gidravlikasi. T., RFAAK. 2001.
8. **Bozorov D.R. Karimov R.M., Kazbekov J.S., Xidirov S.Q.** Gidravlika. T.Bilim. 2003.
9. **Bozorov D.R. Obidov B.M., Xidirov S.Q.** Gidravlika (amaliy va tajriba mashgʻulotlari). T. TIMI. 2009.
10. **Абелев А.С.** Сельскохозяйственное водоснабжение и основы гидравлики.-Л.: Сельхозгиз, 1959.
11. **Абрамов Н.Н.** Водоснабжение.-М.: Стройиздат, 1967.
12. **Абрамов Н.Н.,** Пospelова М.М. Расчёт водопроводных сетей - М.: Госстройиздат, 1962.
13. **Абрамович Г.Г.** Теория турбулентных струй.-М.: Физматгиз, 1960.
14. **Агроскин И.И.,** Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика.- М.-Л.: Энергия, 1964.
15. **Агроскин И.И.,** Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И. Гидравлика - М.: Госэнергоиздат, 1964.
16. **Альтшуль А.Д.** Гидравлические сопротивления.-М.: Недра, 1970.
17. **Альтшуль А.Д.,** Киселёв П.Г. Гидравлика и аэродинамика - Л.: Стройиздат, 1975.
18. **Андряшев М.М.** Гидравлический расчёт водопроводных сетей - М.: Стройиздат, 1964.
19. **Бабенко Ю.И., Коваленко Ю.В. Насосы.** Учебн.пособие. Ростов н/д, 2001. 104 с. (Ростов н/д гос. акад. с-х. машиностроения)
20. **Барлит В.В.** Гидравлические турбины.-Киев: Высшая школа, 1977.-360 с.
21. **Бахметов Б.А.** Механика турбулентного потока - М.-Л.: Стройиздат, 1939.
22. **Бернар Ле Меоте.** Введение в гидравлику и теорию волн на воде.- Л.: Гидрометеиздат, 1974.
23. **Богомолов А.И.,** Михайлов К.А. Гидравлика.-М.: Стройиздат, 1973.
24. **Бозоров Д.Р.** Прогноз деформации русел рек с применением численных методов расчета, Ташкент 2001.

25. **Броновский Г.А., Гольдфабр А.И., Фасулати Р.К.** Технология гидротурбиностроения. Л.: Машиностроение, 1978.-192 с.
26. **Бусырев А.И.** Кавитационные и эрозионные испытания радиально-осевых гидротурбин: Учеб. Пособие. –Л.: ЛПИ, 1977.-39 с.
27. **Гидравлика, гидромашины, гидроприводы./** Т.М.Башта, С.С.Руднёв, Б.Б.Некрасов и др.-М.: Машиностроение, 1970.
28. **Гидроэнергетические установки./**Под ред. Д.С.Щавелева.- Л.: Энергоиздат, 1981.
29. **Емцев Б.Т.** Техническая гидромеханика.-М.: Стройиздат, 1978.
30. **Зегжда А.П.** Гидравлические потери на трение в каналах и трубопроводах.-М.-Л.: Стройиздат, 1957.
31. **Идельчик И.Е.** Гидравлические сопротивления - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1954.
32. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям - М.: Машиностроение, 1975.
33. **Избаш М.В.** Основы гидравлики.-М.: Госстройиздат, 1952.
34. иностр. лит., 1956.
35. **Карелин В.Я.** Изнашивание лопастных насосов. -М.: Машиностроение., 1983.168 с.
36. **Каримов Р.М.** Гидравлический расчет каналов - Ташкент, Узгипрозем, 1976
37. **Качановский Б.Д.** Гидравлика судоходных шлюзов -
38. **Киселев И.И.** и др. Крупные осевые и центробежные насосы. Спр. пособие. – М. "Машиностроение", 1977, 184 с.
39. **Киселёв П.Г.** Гидравлика.-М.-Л.: Госэнергоиздат,1963.
40. **Ковалёв Н.Н.** Гидротурбины. 2-е изд.-Л.: Машиностроение, 1971.-573 с.
41. Конструкция и расчёт гидротурбин /С.А. Грановский, В.А. Малышев, В.М. Орго, Л.Г. Смоляров. -Л.: Машиностроение, 1974.-408 с.
42. **Корнфельд М.** Упругость и прочность жидкостей. -М.-Л.: ГИТТЛ,1951.
43. **Кривченко Г.И.** Гидравлические машины. Турбины и насосы. Учебн. для студентов гидротех. специальностей. М. "Энергия". 2001, 320 с. (Открытая русская электронная библиотека. ГПНТБ, Россия)
44. **Кривченко Г.И.** Гидравлические машины-М.; Энергия, 1983 г.
45. Л.: Судостроение, 1973.
46. **Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередат.**/Под ред. С.С.Руднёва и Л.Г.Подвидза.-М.: Машиностроение, 1974.
47. **Лойцянский Л.Г.** Механика жидкости и газа.- М.: Наука,1972.
48. **Ломакин А.А.** Центробежные и осевые насосы. -М. -Л. Машиностроение. 1966, 364 с.
49. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958.
50. М.-Л.: Речиздат, 1951.
51. **Мамажонов М, Мухамедов А.К.,Уралов Б.Р.,Мажидов Т.Ш.** Суғоришни механизациялаш. Насос ва насос станциялари. Ўқув қўлланма. Тошкент. Ворис- нашриёт. 2007. 160 б.

52. **Мамажонов М.** Способ защиты уплотняющих элементов центробежных насосов. «Сельское хозяйство Узбекистана», 2002. №3. с. 23-24.
53. Мелиоративные системы и сооружения. Насосные станции. Норма проектирования: ВСН-33-2.2.12.-87. изд. офиц. Б.И. 1988., 93 с.
54. **Михайлов А.В.** Внутренние водные пути.- М.: Стройиздат, 1973.
55. **Михалев Б.Н.** Гидрогенераторы: Пособие к курсовой работе. Л.: ЛПИ, 1968.
56. **Мошнин Л.Ф.** Методы технико-экономического расчёта водопроводных сетей - М.: Госстройиздат, 1950.
57. Насосы. Каталог - справочник, ВИГМ, М, -Л. 1960, 552 с.
58. **Некрасов Б.Б.** Гидравлика и её применение в летательных аппаратах.-М.: Машиностроение, 1967.
59. **Некрасов Б.Б.** и др. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу. – М., «Высшая школа». 1989, -192 с.
60. **Оглоблин А.П.** Основы гидромеханики.-М.: Оборонгиз, 1945.
61. **Павлов С.Я.** О преподавании курса "Мелиоративные насосные станции". Моск.Гос.Унив.природообустр., Научные труды: "Вопросы повышения качества образования..." Сб.матер. 3 межвузов.начно-техн.конфр. -М.: 2001, - 210 с.
62. **Павловский Н.Н.** Собрание сочинений, т. I.-М.-Л.: Издательство АН СССР, 1955.
63. **Патрашев А.Н.** Гидромеханика.-М.: Военно-морское издательство, 1953.
64. **Повх И.Л.** Аэродинамический эксперимент в машиностроении.-Л.: Машиностроение, 1974.
65. **Позднеев М.В.** Противопожарное водоснабжение.: Изд. Наркомхоза РСФСО, 1940.
66. **Примеры гидравлических расчётов.**/Под ред. А.И.Богомолова.- М.: Транспорт, 1977.
67. **Пылаев Н.И., Эдель Ю.У.** Кавитация в гидротурбинах.-Л.: Машиностроение, 1974.-25 с.
68. **Рауз Х.** Механика жидкости для инженеров гидротехников -
69. **Ржаницын Н.А.** Гидравлика струйных течений - М.: Издательство Университета дружбы народов, 1985.
70. **Семёнов-Тян-Шанский В.В.** Статика и динамика корабля -
71. **Симаков Г.В.** Сифонные водосбросы (пособие к курсовому и дипломному проектированию).-Л.: из-во ЛПИ им. М.И.Калинина, 1974.
72. **Смирнов И.Н.** Гидравлические турбины и насосы: Учеб. Пособие для энергетических и политехнических вузов. –М.: Высшая школа, 1969.- 400 с.
73. **Справочник по гидравлике.**/Под ред. В.А.Большакова.-Киев: Высшая школа, 1977.
74. **Справочник по гидравлическим расчётам.** /Под ред. П.Г.Киселева.- М.: Энергия, 1972.

75. Справочник по гидротурбинам /В.Б. Андреев, Г.А.Броновский, И.С.Веремеенко и др. Под общ. ред. Н.Н. Ковалёва.-Л.: Машиностроение, 1984.-496 с.

76. **Тер-Степанов Г.А.** Гидромониторные работы - М.: Стройвоенмориздат, 1948.

77. **Угинчус А.А.,** Чугаева Е.А. Гидравлика.-Л.: Стройиздат, 1971.

78. **Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г.** Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. -М.:, Изд. Стандартов, 1990, -287 с.

79. **Чебаевский В.Ф.,** и др. Насосы и насосные станции., -М.:, Агропромиздат, 1989, 416 с.

80. **Чебаевский В.Ф.** и др. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. -М.: «Колос», 2000, 376 с.

81. **Чоу В.Т.** Гидравлика открытых каналов.- М.: Стройиздат, 1969.

82. **Чугаев Р.Р.** Гидравлика -Л.: Энергоатомиздат, 1982.

83. **Шаммазов А.М.** и др. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций. Учеб. для вузов. -"Недра", Недра-Бизнесцентр, 2003,- 403 стр.

84. **Шевелёв Ф.А.** Таблицы для гидравлического расчёта стальных, чугунных, асбестоцементных и пластмассовых водопроводных труб.- М.: Стройиздат, 1970.

85. **Шлихтинг Г.** Возникновение турбулентности - М.: Издательство иностр. лит., 1962.

86. **Шлихтинг Г.** Теория пограничного слоя - М.: Издательство

87. **Штеренлихт Д.В.** Гидравлика. I, II, III, IV т. -М.: Энергоатомиздат, 1991.

88. **Штеренлихт Д.В.** Очерки истории гидравлики, водных и строительных искусств. I, II, III т. -М.:Геос, 1999.

89. **Яроменко О.В.** Испытание насосов. Справочное пособие. -М. "Машиностроение", 1976, 225 с.

MUNDARIJA

КИРИШ	5
I bob. Suyuqliklarning asosiy xarakteristikalar	
1.1. Suyuqlik, uning asosiy fizik xossalari va xususiy holatlari. Yopishqoqlik. Nyuton gipotezasi	7
1.2. Real va ideal suyuqliklar	7
1.3. Molekulyar bosim	18
1.4. Suyuqlikning hususiy holatlari	20
1.5. Suyuqlikning kapillyarligi	23
I bobga doir test-nazorat savollari	24
II bob. Hidrostatika	
2.1. Hidrostatik bosim va uning asosiy hossalari	28
2.2. Ideal suyuqlikning nisbiy tinch holati uchun differentsial tenglamasi	31
2.3. Ideal suyuqlikning tinch holati uchun differentsial tenglamani integrallash	33
2.4. Teng bosimlar tekisligi	35
2.5. Og'irlik kuchi ta'siri ostidagi suyuqlikka ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	35
2.6. Pezometrik balandlik	38
2.7. Vakuum	38
2.8. Paskal qonuni	39
2.9. Tutash idishlar qonuni	39
2.10. Suyuqlikning potentsial energiyasi. Potentsial napor	40
2.11. Bosim o'lchash asboblari	41
2.12. Aylanayotgan idishdagi suyuqlik muvozanati (suyuqlikning nisbiy tinch holati)	43
2.13. Tekis sirtga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi. Hidrostatik paradoks	45
2.14. Trapetsiya shakldagi ko'rinishga ega tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	48
2.15. To'g'ri to'rtburchak, uchburchak, doira va yarim doira shakldagi ko'rinishga ega tekis sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	51
2.16. To'rtburchak ko'rinishdagi tekis shakllarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchini aniqlashning grafoanalitik usuli	54
2.17. Trapetsiya og'irlik markazini aniqlash usullari	55
2.18. Tekis sirt shaklidagi vertikal to'siqni bir xil gidrostatik bosim ta'sir etadigan bo'laklarga ajratish	56
2.19. Egri sirtlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi. Bosim tanasi va uni qurish qoidalari	58
2.20. Aylana shakldagi quvur ichidan ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	60
2.21. Eng sodda gidravlik mashinalar	60
II bobga doir test-nazorat savollari	62

III bob. Texnik gidrodinamika asoslari

3.1. Gidrodinamik va gidromexanik bosimlar. Texnik gidrodinamika masalalarining umumiy qo'yilishi	65
3.2. Suyuqlik harakatini kuzatishning asosiy analitik usullari	67
3.3. Ideal holatdagi suyuqliklar harakatining differentsial tenglamasi (Eyler tenglamasi)	69
3.4. Suyuqlik harakatining uch asosiy ko'rinishi. Burama (vixrli) va noburama (vixrsiz) harakatlar	73
3.5. Tezlik potentsiali. Suyuqlikning potentsial harakati	76
3.6. Eyler tenglamasining potentsialga ega bo'lgan hajmiy kuchlarning vixr (burama)lari komponentlari funktsiyasi uchun kurinishi – Eyler-Lyamb-Gromeko tenglamalari	78
3.7. Suyuqlikning barqaror va beqaror harakatlari	80
3.8. Harakat chizig'i va elementar oqimchalar. Suyuqlik oqimi	81
3.9. Suyuqlik oqimining tekis, parallel chiziqli, sekin o'zgaruvchan va tez o'zgaruvchan harakatlari. Harakatdagi kesim, sarf va o'rtacha tezlik. Tezlik epyurasi	82
3.10. Suyuqlikning barqaror harakatida uzluksizlik tenglamasi	84
3.11. Tekis va notekis harakatlar, erkin oqimchalar, naporli va naporsiz harakatlar. Harakatdagi kesimning gidravlik elementlari	87
3.12. Suyuqlik oqimining uch o'lchamli (fazoviy), ikki o'lchamli va bir o'lchamli harakatlari. Suyuqlik harakati turlarining tasnifi.	89
3.13. Kinetik energiyaning gidravlik tenglamasi. Suyuqlikning ideal holatdagi barqaror harakatlanayotgan elementar oqimchalari uchun Bernulli tenglamasi	91
3.14. Suyuqlikning ideal holatdagi barqaror harakatlanayotgan elementar oqimchalari uchun Bernulli tenglamasini Eyler tenglamalariga asosan yozilishi	92
3.15. Bernulli tenglamasi hadlarining geometrik, gidravlik va energetik ma'nolari	94
3.16. Barqaror harakatlanayotgan ideal holatdagi suyuqlikning elementar oqimchalari uchun Bernulli tenglamasining geometrik tahlili. Elementar oqimcha uchun to'liq napor	95
3.17. Barqaror holatdagi elementar oqimchalar uchun Bernulli tenglamasining energetik tahlili	96
3.18. Kinetik energiyaning gidravlik tenglamasi. Barqaror harakatlanayotgan real suyuqlikning elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi. Elementar oqimchaning yon sirtlari orqali mexanik energiya «diffuziyasi»	97
3.19. Tekis va tekis o'zgaruvchan harakatlanayotgan suyuqlikning harakatdagi kesimi bo'ylab bosim taqsimlanishi (birinchi ko'maklashuvchi vaziyat)	98
3.20. Ixtiyoriy shakldagi harakatdagi kesim orqali oqib o'tayotgan suyuqlik massasining kinetik energiyasi miqdoriga va harakatlar miqdori kattaligiga harakatdagi kesim bo'ylab tezlik taqsimlanishi notekisligining ta'siri (ikkinchi ko'maklashuvchi vaziyat)	99

3.21.	To'liq oqim uchun to'liq napor	102
3.22.	Kinetik energiya tuzatish koeffitsienti (korrektivi – α) ning va harakatlar miqdori tuzatish koeffitsientlari (α_0) ning aniqlanish formulalari va tajribaviy qiymatlari	103
3.23.	Barqaror harakatlanayotgan real suyuqlik oqimi kinetik energiyasining gidravlik tenglamasi (Bernulli tenglamasi)	104
3.24.	Oqimning barqaror harakatida napor va pezometrik chiziqlarning ko'rinishlari haqida umumiy ko'rsatmalar. Bernulli tenglamasiga kiruvchi hadlar haqida qo'shimcha mulohazalar	107
3.25.	Barqaror harakatdagi oqim uchun harakatlar miqdorining gidravlik tenglamasi	108
3.26.	Suyuqlikning ikki xil tartibdagi harakati	110
	III bobga doir test-nazorat savollari	114
IV bob. Oqimning barqaror harakatida napor yo'qolishi. Oqimning turbulent harakatini hisoblash sxemasi		
4.1.	Napor yo'qolishi haqida umumiy tushunchalar	118
4.2.	«To'g'ri o'zanlar» uchun tekis barqaror harakatlanayotgan oqimning asosiy tenglamasi. Ichki ishqalanish kuchlari bajargan ish. Gidravlik ishqalanish koeffitsienti yoki Darsi koeffitsienti	120
4.3.	Oqimning harakatiga ta'sir etuvchi omillar	124
I. Oqimning tekis barqaror laminar tartibdagi harakatida tezlik taqsimlanishi va naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi		
4.4.	Suyuqlikda ichki ishqalanish kuchlari qonuni. Oqimning laminar harakatida urinma kuchlanish kattaligi	128
4.5.	Tekis barqaror laminar tartibda harakatlanayotgan suyuqlik oqimining harakatdagi kesimi bo'ylab u tezlik taqsimlanishi	131
4.6.	Aylana silindrik quvurdagi Q sarfli oqim uchun Puazeyl formulasi. Barqaror tekis, laminar tartibda harakatlanayotgan suyuqlik uchun naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi	132
4.7.	Suyuqlikning laminar tartibdagi tekis barqaror harakatida Koriolis va Bussinesk koeffitsientini aniqlash formulalari va tajribaviy qiymatlari	133
II. Turbulent oqimni hisoblanish modeli. Suyuqlikning turbulent tartibdagi harakatida o'rtacha tezlikning taqsimlanishi		
4.8.	Turbulent harakatdagi oqimni o'rganishda foydalaniladigan asosiy tushunchalar	134
4.9.	Tekis barqaror harakatlanayotgan turbulent oqimning harakatdagi kesimidagi o'rtacha tezlikning taqsimlanishi. Laminar (yopishqoq) qatlam. Silliq va g'adir-budir quvurlar. Chegaraviy qatlam	141
4.10.	Quvurlarda napor ostida turbulent tartibda harakatlanayotgan oqimlar uchun tezlik epyurasi	147
4.11.	Quvurlarda napor ostida turbulent tartibda harakatlanayotgan oqimlar uchun mahalliy va maksimal tezliklar orasidagi bog'liqlik	148
4.12.	Koriolis α va Bussinesk α_0 koeffitsientlarining oqimning turbulent tartibdagi harakati uchun kattaliklari	151

III. Suyuqlik oqimining turbulent tartibdagi tekis barqaror harakatida napor yo'qolishi

4.13.	Darsi-Veysbax formulasi λ gidravlik ishqalanish (Darsi) ko'effitsienti	152
4.14.	Napor yo'qolishi masalasini umumlashtirish. Darsi – gidravlik ishqalanish ko'effitsientining boshqa parametrlarga bog'liqligi. Nikuradze tadqiqotlari	153
4.15.	Turli (po'lat, cho'yan, shisha, plastik, gofra) materiallaridan tayyorlangan aylana va to'g'ri to'rtburchak shaklidagi naporli quvurlarda Darsi ko'effitsienti (λ)ni aniqlashning amaliy usullari	156
4.16.	Gidravlik ishqalanish – Darsi ko'effitsienti kattaligini to'g'ri to'rtburchak shaklidagi ochiq o'zanlar uchun aniqlashga doir A.P.Zegjda tajribalari	162
4.17.	Kvadrat qarshiliklar sohasi uchun oqimning turbulent tekis barqaror harakatda naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi. Shezi formulasi. Sarf va tezlik modullari	163
4.18.	Shezi ko'effitsienti (S)ni aniqlash uchun empirik formulalar	166

IV. Suyuqlikning turbulent tartibdagi tekis barqaror harakatida mahalliy napor yo'qolishlari

4.19.	Tranzit oqimining o'zan devoridan ajralish xodisasi. Sirkulyatsion (suv aylanish) sohasi. Ajratish sirti. Mahalliy napor yo'qolishining umumiy xarakteri	170
4.20.	Quvurlar tizimi (truboprovod)ning keskin kengayishi. Bord formulasi. Truboprovoddan oqimning chiqishi	172
4.21.	Quvurning bosqichma-bosqich kengayishi (diffuzor)	174
4.22.	Truboprovodning torayishi. Suyuqlik oqimining truboprovodga kirishi	175
4.23.	Boshqa holatlarda mahalliy napor yo'qolishini aniqlash. Veysbax formulasi	178
	IV bobga doir test-nazorat savollari	189

V bob. I. Suyuqlik oqimining naporli quvurlardagi barqaror harakati

5.1.	Dastlabki tushunchalar	193
5.2.	Napor yo'qolishini aniqlashda foydalaniladigan ifodalar	193
5.3.	Napor yo'qolishining yig'indisini aniqlash. To'liq qarshilik ko'effitsienti. Uzun va qisqa quvurlar haqida tushuncha	196

A. Qisqa quvurlar tizimi

5.4.	O'zgarmas diametrli oddiy qisqa quvurlar tizimi	199
5.5.	Qisqa quvurlardagi asosiy holatlar. Sifon, nasosning so'ruvchi quvuri va dyuker	202
5.6.	Gorizontal va vertikal holatdagi suv chiqaruvchi quvurlar. Vakuumning har xil ko'rinishlari	206

B. Uzun quvurlar tizimida suyuqlik oqimining napor ostidagi barqaror harakati uchun quvurlar tizimining gidravlik hisobi

5.7.	Umumiy tushunchalar	211
5.8.	Gidravlik hisoblarni bajarishda quvurlarning ketma-ket va parallel ulanishi	213

5.9. Uchta rezervuarning gidravlik hisobi	215
5.10. Sarfning bir maromda taqsimlanishi holatida napor yo‘qolishi	216
5.11. Murakkab quvurlar tizimining gidravlik hisobi	218
V bobga doir test-nazorat savollari	220
VI bob. Suyuqlik oqimining quvurlar sistemasidagi beqaror harakati	
6.1. Dastlabki tushunchalar	222
I. Suyuqlikni siqilmas deb qarab, quvurlarning deformatsiyalanmaydigan holati uchun naporli beqaror harakat	
6.2. Beqaror harakatlanayotgan elementar oqimchalar to‘plami uchun Bernulli tenglamasi (suyuqlikning lokal inertsia kuchlarini hisobga oluvchi Bernulli tenglamasi)	223
6.3. Lokal inertsia kuchlari hisobga olingan holat uchun real holatdagi suyuqlikning butun oqimi uchun Bernulli tenglamasi	227
6.4. Inertsia naporining energetik ma’nosi. Siqilmas suyuqlik oqimining absolyut qattiq devorli truboprovodlardagi beqaror harakati uchun Bernulli tenglamasining geometrik interpretsiyasi	229
6.5. Silindrik quvurlardagi oqimning harakatini hisoblash formulalari	232
6.6. Suyuqlikning silindrsimon quvurlardan atmosferaga oqib chiqishi	233
II. Suyuqlikning siqiluvchanligi va truboprovod (quvurlar sistemi) qattiq devorlarining egiluvchanligi va deformatsiya-lanishini hisobga olgan holda beqaror naporli harakati	
6.7. Gidravlik zarb	235
6.8. Gidravlik zarb xodisasini tasvirlash	235
6.9. Gidravlik zarb kattaligi va uning tarqalish tezligini hisoblash formulalari	238
6.10. To‘g‘ri (boshlang‘ich) va qaytarilgan gidravlik zarblar. Quvurning qo‘zg‘almas ko‘ndalang kesimida gidravlik zarb ro‘y berganda gidromexanik bosimning tebranishi	242
6.11. Kranning bosqichma-bosqich yopilish holati. To‘liq va chala gidravlik zarblar	243
VI bobga doir test-nazorat savollari	247
VII BOB. NASOSLAR	
7.1. Suv xo‘jaligida mashinali suv ko‘tarishning ahamiyati	249
7.1.1. Nasoslar hakida tushuncha. Nasoslar tasnifi	249
7.1.2. Nasos dvigateli, nasos agregati, nasos qurilmasi, nasos stansiyasi va mashinali suv ko‘tarish gidrotexnik uzeli tushunchasi	250
7.1.3. Nasoslarning qo‘llanish sohalari	251
7.1.4. Nasoslarning energetik ko‘rsatkichlari	251
7.1.5. Nasoslarning to‘la bosimini aniqlash	254
7.1.6. Geometrik, keltirilgan va vakuumetrik so‘rsh balandligi	255
7.1.7. Nasosning haydash balandligi	258
7.1.8. Keltirilgan faydash balandligi	258
7.1.9. Nasoslarni markalash – tamg‘alash	259
7.2. Parrakli nasoslar	261
7.2.1. Parrakli nasoslar konstruksiyasi	261

7.2.2.	Konsolli markazdan qochma nasoslar	262
7.2.3.	Ishchi g'ildiragiga ikki tomondan suyuqlik kiruvchi markazdan qochma nasoslar	264
7.2.4.	Ko'p bosqichli markazdan qochma seksiyali nasoslar	265
7.2.5.	Fekal, qum va loyqa so'ruvchi markazdan qochma nasoslar	267
7.2.6.	Suyuqlikka botirib ishlatiladigan markazdan qochma monoblok nasoslar	269
7.2.7.	Quduqli markazdan qochma nasoslar	271
7.2.8.	Yirik markazdan qochma vertikal nasoslar	277
7.2.9.	O'qiy nasoslar	278
7.2.10.	Cho'ktiriladigan monoblokli o'qiy nasoslar	285
7.2.11.	Diagonal nasoslar	286
7.3.	Parrakli nasoslar nazariyasi	288
7.3.1.	Markazdan qochma nasosni ishlashi	288
7.3.2.	Markazdan qochma nasos ish g'ildiragiga suvning zarbsiz kirish va chiqish shartlari	290
7.3.3.	Markazdan qochma nasosning asosiy tenglamasi va nazariy bosim	292
7.3.4.	Markazdan qochma nasoslar ish g'ildiragi parraklarini o'rnatish burchagining bosimiga ta'siri	296
7.3.5.	Markazdan qochma nasoslarning ish g'ildiragiga tushadigan ukiy yuklanishlar va ukiy zurikishlarni kamaytiruvchi kurilmalar	297
7.3.6.	O'qiy nasoslarning qisqacha nazariyasi	298
7.3.7.	Nasosning nusxalashtirish va o'xshashlik qonunlari	300
7.3.8.	Tez yurish koeffisienti yoki solishtirma aylanishlar soni	304
7.3.9.	Parrakli nasoslarda kavitatsiya. Nasoslarni urnatish satxini aniklash	306
7.3.10.	Chegaralangan so'rish balandligi	307
7.4.	Parrakli nasoslar xarakteristikasi. Nasoslarni quvurlar bilan birgalikda ishlashi	308
7.4.1.	Nasoslar xarakteristikasi	308
7.4.2.	Nazariy va xaqiqiy bosim xarakteristikalari	313
7.4.3.	Nasoslarni kuvurlar bilan birgalikda ishlashi	314
7.4.4.	Nasoslar ishini boshqarish	315
7.4.5.	Nasoslarning birgalikda ishlashi	320
7.4.6.	Nasoslarni sinash	325
7.5.	Hajmiy nasoslar	329
	VII bobga doir test-nazorat savollari	336
VIII bob. Gidravlik turbinalar		
8.1.1.	Gidravlik turbinalar to'g'risida umumiy ma'lumotlar	340
8.1.2.	Gidravlik turbinalarning rivojlanish tarixi. Suv g'ildiraklari	340
8.1.3.	Turbinaning asosiy ko'rsatgichlari	351
8.1.4.	Turbinalar klassifikatsiyasi. Turbinalarning turlari va ulardan foydalanish sohalari	354
8.2.	Gidravlik turbinalarning konstruksiyalari	358

8.2.1. Reaktiv turbinalar. Propellerli va parraklari buriladigan o‘qiy turbinalar	358
8.2.2. Diagonal turbinalar	369
8.2.3. Radial-o‘qiy turbinalar	371
8.2.4. Vertikal gidroturbinalarning vali va yo‘naltiruvchi podshipnitklari	376
8.2.5. Reaktiv turbinalarning olib keluvchi va olib ketuvchi elementlari	378
8.2.6. So‘rib ketish quvurlari	386
8.2.7. Aktiv turbinalarning konstruksilari. Cho‘michli turbinalar	389
8.2.8. Ikki karra harakatlanadigan va qiya oqimli turbinalar	393
8.3. Gidravlik turbinalarning asosiy nazariyalari	396
8.3.1. Reaktiv turbinalar ish g‘ildiragidagi oqim kinematikasi	396
8.3.2. Turbinalarning asosiy energetik tenglamalari	399
8.4. Turbina ishchi rejimlari	401
8.4.1 Turbina ishchi rejimlarining o‘xshashlik qonunlari	401
8.4.2. Turbinaning keltirilgan parametrlari	404
8.4.3. Tezyurarlik koeffitsienti	405
8.5. Gidravlik turbinalarning xarakteristikalari	406
8.5.1. Xarakteristikalarning turlari	406
8.5.2. Parametrlarni nusxadan dala sharoitiga qayta hisoblash	413
8.5.3. Turbinalarni xarakteristikalari bo‘yicha solishtirish	416
8.6. Gidroturbinalarda kavitatsiya	418
8.6.1. Kavitatsiya hodisasi	418
8.6.2. Kavitatsiya koeffitsienti. mumkin bo‘lgan so‘rib ketish balandligi	421
8.7. Gidravlik turbinalarni tanlash	423
8.7.1. Reaktiv turbinalarni keltirilgan parametrlar bo‘yicha tanlash	423
8.7.2. Xitoy gidroturbinalari xaqida malumotlar	432
VIII bobga doir test savollari	436
ГЛОССАРИЙ	441
Ilova	452
Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yhati	461

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава I. Основная характеристика изучаемого объекта	
1.1. Главнейшие физические свойства жидкости и ее особые состояния. Вязкость. Гипотеза Ньютона	7
1.2. Понятие реальной и идеальной жидкости	17
1.3. Молекулярное давление	18
1.4. Особые состояния жидкости	20
1.5. Капиллярность жидкости	23
Тестовые вопросы по первой главе	24
Глава II. Гидростатика	
2.1. Гидростатическое давление. Свойства гидростатического давления	28
2.2. Дифференциальные уравнения покоя идеальной жидкости	31
2.3. Интегрирование дифференциальных уравнений покоя жидкости	33
2.4. Плоскость ровного давления	35
2.5. Величина гидростатического давления в случае жидкости, находящейся под действием только одной объемной силы – силы тяжести (случай тяжелой покоящейся жидкости)	35
2.6. Пьезометрическая высота	38
2.7. Вакуум	38
2.8. Закон Паскаля	39
2.9. Закон сообщающихся сосудов	39
2.10. Потенциальная энергия жидкости. Потенциальный напор	40
2.11. Приборы для измерения давления	41
2.12. Равновесие жидкости во вращающемся сосуде (относительный покой жидкости)	43
2.13. Сила гидростатического давления, действующая на плоскую фигуру. Гидравлический парадокс.	45
2.14. Сила гидростатического давления, действующая на плоские трапецеидальные фигуры	48
2.15. Сила гидростатического давления, действующая на плоские прямоугольные, треугольные, круглые и полукруглые фигуры	51
2.16. Графоаналитический метод определения силы гидростатического давления, действующая на плоские прямоугольные фигуры	54
2.17. Способы определения центра тяжести трапеции	55
2.18. Метод определения месторасположения ригелей.	56
2.19. Сила гидростатического давления, действующая на цилиндрические поверхности. Тело давления и метод его построения	58

2.20. Круглая труба, подверженная внутреннему гидростатическому давлению	60
2.21. Простейшие гидравлические машины	60
Тестовые вопросы по второй главе	62
Глава III. Основы технической гидродинамики	
3.1. Гидродинамические и гидромеханические давления	65
3.2. Основные аналитические методы исследования движения жидкости	67
3.3. Дифференциальные уравнения движения идеальной (невязкой) жидкости (уравнение Эйлера)	69
3.4. Три основных вида движения жидкости. Понятие вихревого и без вихревого движений	73
3.5. Потенциал скорости. Потенциальное движение жидкости.	76
3.6. Уравнения Эйлера для функции компонентов вихрей объемных сил. Уравнения Эйлера-Лямба-Громеко	78
3.7. Установившееся и неустановившееся движения жидкости	80
3.8. Линия тока и элементарная струйка	81
3.9. Параллельно струйное, плавно изменяющееся и резко изменяющееся движение жидкости. Живое сечение, расход и средняя скорость. Эпюра скоростей	82
3.10. Уравнение неразрывности (или сплошности) движущейся жидкости в случае установившегося движения	84
3.11. Неравномерное и равномерное движения. Напорное и безнапорное движения, свободные струи. Гидравлические элементы живого сечения	87
3.12. Одномерное, двухмерное и трехмерное движения жидкости. Сводка классификации движения жидкости	89
3.13. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости при установившемся движении	91
3.14. Вывод уравнению Бернулли на основе уравнения Эйлера	92
3.15. Значения трех слагаемых, входящих в уравнение Бернулли	94
3.16. Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости при установившемся движении. Полный напор для элементарной струйки	95
3.17. Энергетическая интерпретация уравнения Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости при установившемся движении	96
3.18. Уравнение Бернулли (уравнение баланса удельной энергии) для элементарной струйки реальной жидкости при установившемся движении. Механическая «диффузия»	97
3.19. О распределении давления в живых сечениях потока при параллельном и плавно изменяющемся движениях жидкости. (первое вспомогательное положение)	98

3.20.	Влияние неравномерности распределения скоростей по плоскому живому сечению на величину количества движения в величину кинетической энергии некоторой массы жидкости, протекающей через данное живое сечение (второе вспомогательное положение)	99
3.21.	Полный напор для целого потока	102
3.22.	Основные формулы для определения значений коэффициентов кинетической энергии и количество движения, и их экспериментальные значения	103
3.23.	Уравнение Бернулли для целого потока реальной (вязкой) жидкости (уравнение баланса удельной энергии) при установившемся движении	104
3.24.	Общие указания о форме напорной и пьезометрической линии при установившемся движении	107
3.25.	Гидравлическое уравнение количества движения для установившегося потока	108
3.26.	Два режима движения реальной жидкости	110
	Тестовые вопросы по третьей главе	114
Глава IV. Потери напора при установившемся движении жидкости. Расчетная схема турбулентного потока		
4.1.	Общие указания о потерях напора	118
4.2.	Основное уравнение установившегося равномерного движения жидкости (для прямых русел). Работа, выполненная силами внутреннего трения. Гидравлический коэффициент сопротивления – коэффициент Дарси.	120
4.3.	Основные факторы влияющие на движения жидкости	124
I. Потеря напора подлине и распределение скоростей в потоке при ламинарном установившемся равномерном движении жидкости		
4.4.	Законы внутреннего трения в жидкости. Касательные напряжения трения на ламинарном движении жидкости	128
4.5.	Распределение скоростей u по живому сечению при ламинарном равномерном установившемся движении жидкости	131
4.6.	Формула Пуазейля. Потеря напора по длине при ламинарном равномерном установившемся движении жидкости	132
4.7.	Основные формулы для определения значений коэффициентов Кориолиса и Буссинеска движения, их экспериментальные значения при ламинарном движения потока	133
II. Расчетная модель турбулентного потока. Распределение осредненных скоростей в потоке при турбулентном движении жидкости		
4.8.	Основные понятия, связанные с изучением турбулентного потока	134

4.9.	Распределение осредненных скоростей по живому сечению потока при турбулентном равномерном установившемся движении. Ламинарный (вязкий) подслой. Гладкие шероховатые трубы. Пограничный слой	141
4.10.	Эпюра скоростей для турбулентного потока при напорном движении	147
4.11.	Взаимосвязь между местной и максимальной скоростей при напорном турбулентном движении потока	148
4.12.	Основные формулы для определения значений коэффициентов Кориолиса и Буссинеска движения, их экспериментальные значения при турбулентном движения потока	151
III. Потеря напора по длине при турбулентном установившемся равномерном движении жидкости		
4.13.	Формула Вейсбаха – Дарси. Коэффициент гидравлического трения λ	152
4.14.	Исследование Никурадзе. Обобщение вопроса о потерях напора	153
4.15.	Практические способы определения коэффициента гидравлического трения λ для напорных труб (круглых и некоторых прямоугольных). Примеры расчёта	156
4.16.	Результаты исследования А.П.Зегжда для определения значению коэффициента гидравлического трения λ для открытых русел прямоугольного сечения.	162
4.17.	Потеря напора по длине при турбулентном установившемся равномерном движении жидкости для квадратичной области сопротивления. Формула Шези. Модуль расхода и модуль скорости	163
4.18.	Эмпирические формулы для определения коэффициента Шези C	166
IV. Местные потери напора при турбулентном напорном установившемся движении жидкости		
4.19.	Явление отрыва транзитной струи от стенок русла. Водоворотные области. Поверхность раздела. Общий характер местных потерь напора	170
4.20.	Резкое расширение трубопровода. Формула Борда. Выход из трубопровода	172
4.21.	Постепенное расширение трубопровода (диффузор)	174
4.22.	Сужение трубопровода. Вход в трубопровод	175
4.23.	Остальные случаи местных потерь напора. Формула Вейсбаха	178
	Тестовые вопросы по четвертой главе	189
Глава V. Установившееся движение жидкости в трубопроводах		
5.1.	Предварительные указания	193
5.2.	Расчётные зависимости для определения потерь напора	193

5.3. Сложение потерь напора. Полный коэффициент сопротивления. Понятия длинных и коротких трубопроводов	196
А. Короткие трубопроводы	
5.4. Простой трубопровод постоянного диаметра	199
5.5. Особые случаи простого трубопровода: сифон, дюкер и всасывающая труба насоса	202
5.6. Особые случаи простого трубопровода (продолжение): горизонтальная и вертикальная водопускные трубы. Различные виды вакуума	206
Б. Гидравлический расчет длинных трубопроводов для случая установившиеся движения потока	
5.7. Общие указания.	211
5.8. Последовательное и параллельное соединение труб.	213
5.9. Задача о трех резервуарах	215
5.10. Потери напора в случае расхода, переменного по длине трубы	216
5.11. Расчет сложного (разветвленного) незамкнутого трубопровода (трубопроводной сети)	218
Тестовые вопросы по пятой главе	220
Глава VI. Неустановившееся напорное движение жидкости в трубопроводах	
6.1. Предварительные указания	222
I. Неустановившееся напорное движение жидкости в случае, когда не учитываем ее сжимаемость, причем стенки трубопровода считаем абсолютно жесткими – недеформирующимися (простейший случай неустановившееся напорного движения жидкости)	
6.2. Уравнение для элементарной струйки в случае неустановившегося движения (уравнение Бернулли, учитывающее локальные силы инерции жидкости)	223
6.3. Уравнение Бернулли для целого потока реальной жидкости, учитывающее локальные силы инерции жидкости (уравнение баланса удельной энергии при неустановившемся движении)	227
6.4. Энергетический смысл инерционного напора. Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли для неустановившегося движения несжимаемой жидкости в трубопроводе с абсолютно жесткими (недеформирующимися) стенками	229
6.5. Общая расчетная зависимость для движения жидкости в цилиндрической трубе	232
6.6. Истечение жидкости из цилиндрической трубы в атмосферу	233

II. Неустановившееся напорное движение жидкости в случае, когда учитывается ее сжимаемость, причем стенки трубопровода считаются не абсолютно жесткими (упругими, деформирующимися).

6.7. Гидравлический удар	235
6.8. Описания явления гидравлического удара	235
6.9. Расчетные зависимости для величины гидравлического удара и скорости его распространения	238
6.10. Прямой (начальный) и отраженный гидравлические удары. Колебание гидромеханического давления в неподвижном поперечном сечении трубы при гидравлическом ударе.	242
6.11. Случай постепенного закрытия крана. Полный и неполный гидравлические удары	243
Тестовые вопросы по шестой главе	247
Глава VII. Насосы	
7.1. Роль машинного водоподъема в водном хозяйстве	249
7.1.1. Понятие о насосе. Классификация насосов	249
7.1.2. Насос, насосный агрегат, насосная установка, насосная станция и гидротехнический узел машинного водоподъема	250
7.1.3. Области применения насосов	251
7.1.4. Энергетические показатели насосов	251
7.1.5. Определение полного напора насоса	254
7.1.6. Геометрическая, приведенная и вакууметрическая высота всасывания	255
7.1.7. Высота нагнетания	258
7.1.8. Приведенная высота нагнетания	258
7.1.9. Маркировка насосов. Номенклатура	259
7.2. Лопастные насосы	261
7.2.1. Конструкции лопастных насосов	261
7.2.2. Консольные центробежные насосы	262
7.2.3. Центробежные насосы двухстороннего входа	264
7.2.4. Многоступенчатые (секционные) центробежные насосы	265
7.2.5. Центробежные фекальные, песковые и грунтовые насосы	267
7.2.6. Погружные центробежные моноблочные насосы	269
7.2.7. Скважинные центробежные насосы	271
7.2.8. Крупные центробежные вертикальные насосы	277
7.2.9. Осевые насосы	278
7.2.10. Погружные моноблочные осевые насосы	285
7.2.11. Диагональные насосы	286
7.3. Теория лопастных насосов	288
7.3.1. Работа центробежного насоса	288
7.3.2. Условия безударного входа и выхода воды на рабочее колесо насоса	290
7.3.3. Основное уравнение центробежного насоса. Теоретический напор	292
7.3.4. Влияние угла установки лопастей на напор центробежного насоса	296

7.3.5. Осовая нагрузка на колесо центробежного насоса и устройства для разгрузки осевых усилий	297
7.3.6. Краткая теория осевых насосов	298
7.3.7. Подобие насосов. Законы подобия	300
7.3.8. Коэффициент быстроходности и удельная частота вращения рабочего колеса насоса	304
7.3.9. Кавитация в лопастных насосах. Определение отметки установки насоса.	306
7.3.10. Допустимая высота всасывания	307
7.4. Характеристики лопастных насосов. совместная работа насосов с трубопроводами	308
7.4.1. Характеристики насосов	308
7.4.2. Теоретические и действительные напорные характеристики	313
7.4.3. Совместная работа насосов и трубопроводов	314
7.4.4. Регулирование работой насосов	315
7.4.5. Совместная работа насосов	320
7.4.6. Испытания насосов	325
7.5. Объемные насосы	329
Тестовые вопросы по седьмой главе	336
Глава VIII. Гидротурбины	
8.1.1. Общие сведения о гидравлических турбинах	340
8.1.2. История развития гидравлических турбин. Водяные колеса	340
8.1.3. Основные параметры гидротурбин	351
8.1.4. Классификация гидротурбин. Виды гидротурбин и области их применения	354
8.2. Конструкции гидравлических турбин	358
8.2.1. Реактивные гидротурбины	358
8.2.2. Осевые турбины: пропеллерные и поворотно-лопастные	369
8.2.3. Диагональные гидротурбины	371
8.2.4. Радиально-осевые турбины	376
8.2.5. Подводящие и отводящие элементы реактивных турбин	378
8.2.6. Отсасывающие трубы	386
8.2.7. Конструкции активных турбин. Ковшевые турбины	389
8.2.8. Турбины двукратного действия и наклонноструйные	393
8.3. Основы теории гидравлических турбин	396
8.3.1. Кинематика потока в рабочем колесе реактивных турбин	396
8.3.2. Основное энергетическое уравнение гидротурбин	399
8.4. Рабочие системы турбин	401
8.4.1. Законы подобия режимов работы гидротурбин	401
8.4.2. Приведенные параметры гидротурбин	404
8.4.3. Коэффициент быстроходности	405
8.5. Характеристики гидравлических турбин	406
8.5.1. Виды характеристик	406
8.5.2. Пересчет параметров с модели на условия натуры	413

8.5.3. Сравнение различных турбин по их характеристикам	416
8.6. Кавитация в гидротурбинах	418
8.6.1. Явление кавитации	418
8.6.2. Коэффициент кавитации. Допустимая высота отсасывания	421
8.7. Выбор гидравлических турбин	423
8.7.1. Подбор реактивных турбин по приведенным параметрам	423
8.7.2. Сведения о гидротурбинах производства КНР	432
Тестовые вопросы по восьмой главе	436
Глоссарий	441
Приложения	452
Список использованной литературы	461

CONTENTS

Introduction	5
The Chapters I. Main feature of the under study object	
1.1. The most Main physical characteristic to liquids and her special conditions. Viscosity. Hypothesis Newton	7
1.2. Notion real and ideal liquid	17
1.3. Molecular pressure	18
1.4. Special condition to liquids	20
1.5. Capillarity liquids	23
Test questions on first The Chapters	24
The Chapters II. Hydrostatics.	
2.1. Hydrostatic pressure. Characteristic of hydrostatic pressure	28
2.2. Differential equations rest ideal liquid	31
2.3. Integrating of differential equations rest liquids	33
2.4. Plane of the even pressure	35
2.5. Value of hydrostatic pressures in the event of liquid, residing under the action of only one three-dimensional power - power to gravity (event heavy resting liquids)	35
2.6. Hydraulic head	38
2.7. Vacuum	38
2.8. Law of Pascal	39
2.9. Law of communicating vessels	39
2.10. Potential energy to liquids. Potential pressure	40
2.11. Instruments for measurement of the pressure	41
2.12. Balance to liquids in rotating container (relative quietness to liquids)	43
2.13. Power of hydrostatic pressures, acting on flat figure. The Hydraulic paradox	45
2.14. Power hydrostatic pressures, acting on flat τ trapeziform of the figure	48
2.15. Power t hydrostatic pressures, acting on flat square-wave, triangular, round and semicircular figures	51
2.16. Grapho-analytical method determination power hydrostatic pressures, acting on flat square-wave figures	54
2.17. Ways of the determination center of gravity trapezoids	55
2.18. The Method of the determination of the site of crossbars	56
2.19. Power of hydrostatic pressures, acting on cylindrical surfaces. Body of the pressure and method of his building	58
2.20. Round pipe, subject to internal of hydrostatic to pressure	60
2.21. The Protozoa hydraulic machines	60
Test questions on second The Chapters	62
The Chapters III. Basics of technical hydrodynamics	
3.1. Hydrodynamics and hydro mechanical pressure	65

3.2. Main analytical methods of the study of the motion to liquids	67
3.3. Differential equations of the motion ideal no viscous liquids (equation of Euler)	69
3.4. Three main types of the fluid motion. Notion about rotational fluid and without rotational fluid	73
3.5. The Potential to velocities. Potential motion of liquids	76
3.6. The Equations Eyler for function component curls of three-dimensional power. Equations of Eyler-Lyamb-Gromeko	78
3.7. Stationary motion and no stationary motion of liquids	80
3.8. The Line of the current and elementary trickle	81
3.9. Parallel jet, is sailed changing and sharply changing motion of liquids. The Alive section, consumption and average velocity. Velocity profile	82
3.10. The Equation integrity moving liquids in the event of formed motion	84
3.11. Uneven and uniform movement. Pressure flow and free flow, free stream. The Hydraulic elements of the alive section	87
3.12. One-dimensional, two-dimensional and three-dimensional motion to liquids. The Summery to categorizations of the motion to liquids	89
3.13. The Equation Bernoulli for elementary trickle of the ideal liquid under formed motion	91
3.14. Conclusion to equation Bernoulli on base of the equation of Eyler	92
3.15. Importances three composed, falling into equation Bernoulli	94
3.16. Geometric interpreting the equation Bernoulli for elementary trickle of the ideal liquid under formed motion. Full pressure for elementary trickle	95
3.17. Energy interpreting the equation Bernoulli for elementary trickle of the ideal liquid under formed motion	96
3.18. Equation Bernoulli (the equation of the balance to specific energy) for elementary trickle of the real liquid under formed motion. Mechanical "diffusion"	97
3.19. About sharing, the pressure aboveground sections of the flow under parallel and is sailed changing motion to liquids. (the first auxiliary position)	98
3.20. The Influence to unevenness of the sharing the velocities on flat alive section on value amount motion in value of the kinetic energy of a certain mass to liquids, running through given alive section (the second auxiliary position)	99
3.21. The Full pressure for integer of the flow	102
3.22. Main formulas for determination of importances factor to kinetic energy and amount of the motion and their experimental importances	103

3.23.	The Equation Bernoulli for integer of the flow real (viscous) to liquids (the equation of the balance to specific energy) under formed motion	104
3.24.	The General instructions about the form pressure and pressure gradient under formed motion	107
3.25.	The Hydraulic equation amount motion for formed flow	108
3.26.	Two modes of the motion to real liquid	110
	Test questions on the third The Chapters	114
The Chapters IV. Loss of the pressure under formed motion to liquids.		
The Accounting scheme turbulent of stream		
4.1.	The General instructions about loss of the pressure	118
4.2.	The Main equation of the formed uniform movement to liquids (for direct riverbed). Work executed power of internal friction. Hydraulic factor of the resistance - a factor Darsi	120
4.3.	The Main factors influencing upon moving the liquids	124
I. Loss of the pressure on length and sharing the velocities in flow at laminar motion uniform movements of liquids		
4.4.	The Laws of internal friction in liquids. The Tangent voltages of friction on laminar motion to liquids	128
4.5.	Sharing the velocities on alive section at laminar motion of liquids	131
4.6.	The Formula Puazeyl. The Loss of the pressure on length at laminar motion of liquids	132
4.7.	The Main formulas for determination of importances factor Koriolis and Bussinesk motion, their experimental importances at laminar motion	133
II. Accounting model of the turbulent flow. Distribution averaged velocities in flow under turbulent moving the liquids		
4.8.	The Main notions connected with study of the turbulent flow	134
4.9.	Distribution averaged velocities on alive section of the flow under turbulent even formed motion. Luminary (viscous) under layer. The Smooth jagged, pipes. The Border layer	141
4.10.	Diagram velocities for turbulent flow under pressure motion	147
4.11.	Intercooling between local and maximum velocities under pressure turbulent moving the flow	148
4.12.	The Main formulas for determination of importances factor Koriolis and Bussinesk motion, their experimental importances under turbulent moving the flow	151
III. Loss of the pressure on length under turbulent formed uniform movements to liquids		
4.13.	Formula of Veysbah-Darsi. The Factor of hydraulic friction	152
4.14.	Study Nikuradze. The Generalization of the question about loss of the pressure	153
4.15.	Practical ways of the determination of the factor of hydraulic friction for pressure pipes (round and some square-wave). The	156

Examples calculation	
4.16. Results of the study A.P.Zegzhda for determination to importance of the factor of hydraulic friction for opened pycл of the square-wave section	162
4.17. The Loss of the pressure on length under turbulent formed uniform movements to liquids for square-law area of the resistance. The Formula Shezi. The Module of the consupcion and module to velocities	163
4.18. The Empirical formulas for determination of the factor Shezi	166
IV. Local losses of the pressure under turbulent pressure formed motion to liquids	
4.19. The Phenomena of the take-off transit stream from wall of the riverbed. Whirlpool area. The Surface of the section. The General nature of the local losses of the pressure	170
4.20. The Sharp expansion of the pipeline. The Formula of Bord. Output from pipe line	172
4.21. The Gradual expansion of the pipe line (the diffuser)	174
4.22. Narrowing the pipeline. Entry in pipeline	175
4.23. The Rest events of the local losses of the pressure. The Formula of Veysbah	178
Test questions on fourth The Chapters	189
The Chapters V. Formed motion to liquids in pipe line	
5.1. The Preliminary instructions	193
5.2. Accounting dependencies for determination of the losses of the pressure	193
5.3. Adding loss pressure. The Full factor of the resistance. The Notions long and short pipe line	196
A. Short pipe lines	
5.4. The Simple pipe line of the constant diameter	199
5.5. The Special events of the simple pipe line: siphon, pipe canal and soaking up pipe of the pump	202
5.6. The Special events of the simple pipe line (the continuation): horizontal and vertical water-discharges of the pipe. The Different types of the vacuum	206
B. Hydraulic calculation long pipe line for event formed moving the flow	
5.7. The General instructions	211
5.8. Consequent and parallel joining the pipes	213
5.9. Problem about three reservoirs	215
5.10. Loss of the pressure in the event of consupcion, variable on length of the pipe	216
5.11. The Calculation complex incomplete pipe line (the pipe-line network)	218
Test questions on fifth to The Chapters	220
The Chapters VI. Outflow to liquids from hole and adjutage. Free blast	
6.1. The Preliminary instructions	222

I. Nonstationary pressure motion to liquids when do not take into account her compressibility moreover walls of the pipe line consider absolutely hard - warp-free (simplest event, nonstationary pressure motion to liquids)

6.2. Equation for elementary trickle in the event of, nonstationary motion (equation Bernoulli, taking into account local power to inertias to liquids)	223
6.3. Equation Bernoulli for integer of the flow to real liquid, taking into account local power to inertias to liquids (equation of the balance to specific energy under no stationary motion)	227
6.4. The Energy sense inertia pressure. Geometric interpreting the equation Bernoulli for no stationary motion to incondensable liquid in pipe line with absolutely hard (warp-free wall)	229
6.5. General accounting dependency for moving the liquids in cylindrical pipe	232
6.6. The Outflow to liquids from cylindrical pipe in atmosphere	233

II. Nostationary pressure motion to liquids when her compressibility is taken into account moreover walls of the pipeline are considered not absolutely hard (springy, bulging).

6.7. Hydraulic blow	235
6.8. Descriptions of the phenomena of the hydraulic blow	235
6.9. The Accounting dependencies for value of the hydraulic blow and velocities of its spreading	238
6.10. Direct and reflected hydraulic blows. The Fluctuation hydraulic mechanical pressures in still cross-sections of the pipe under hydraulic blow	242
6.11. The Event of the gradual closing the tap. Full and incomplete hydraulic blows	243
Test questions on sixth The Chapters	247

The Chapters VII. Pumps

7.1. The role of pumping in water management	249
7.1.1. The concept of the pump. Pump classification	249
7.1.2. Pump, pumping unit, pumping unit, pumping station and hydraulic unit for machine water lifting	250
7.1.3. Pump applications	251
7.1.4. Energy indicators of pumps	251
7.1.5. Determination of the total pump head	254
7.1.6. Geometric, normalized and vacuum suction lift	255
7.1.7. Discharge height	258
7.1.8. Reduced discharge head	258
7.1.9. Pump marking. Nomenclature	259
7.2. Vane pumps	261
7.2.1. Vane pump designs	261
7.2.2. Cantilever centrifugal pumps	262
7.2.3. Double inlet centrifugal pumps	264

7.2.4. Multistage (sectional) centrifugal pumps	265
7.2.5. Centrifugal fecal, sand and dredge pumps	267
7.2.6. Submersible centrifugal monoblock pumps	269
7.2.7. Borehole centrifugal pumps	271
7.2.8. Large centrifugal vertical pumps	277
7.2.9. Axial pumps	278
7.2.10. Submersible Monoblock Axial Pumps	285
7.2.11. Diagonal pumps	286
7.3. Vane pump theory	288
7.3.1. Centrifugal pump operation	288
7.3.2. Conditions for shockless water inlet and outlet to the pump impeller	290
7.3.3. The basic equation of a centrifugal pump. Theoretical head	292
7.3.4. Influence of the blade angle on the head of a centrifugal pump	296
7.3.5. Axial load on a centrifugal pump impeller and axial force relief devices	297
7.3.6. Brief theory of axial flow pumps	298
7.3.7. Similarity of pumps. Similarity laws	300
7.3.8. Speed factor and specific speed of the pump impeller	304
7.3.9. Cavitation in vane pumps. Determination of the pump installation mark.	306
7.3.10. Permissible suction head	307
7.4. Characteristics of vane pumps. joint work of pumps with pipelines	308
7.4.1. Pump characteristics	308
7.4.2. Theoretical and actual pressure characteristics	313
7.4.3. Collaboration of pumps and pipelines	314
7.4.4. Pump control	315
7.4.5. Collaboration of pumps	320
7.4.6. Pump testing	325
7.5. Positive displacement pumps	329
Test questions on seventh The Chapters	336
The Chapters VIII. Hydro turbines	
8.1.1. General information about hydraulic turbines	340
8.1.2. The history of the development of hydraulic turbines. Water wheels	340
8.1.3. Main parameters of hydraulic turbines	351
8.1.4. Classification of hydraulic turbines. Types of hydraulic turbines and their fields of application	354
8.2. Hydraulic turbine structures	358
8.2.1. Jet hydro turbines	358
8.2.2. Axial turbines: propeller and rotary vane	369
8.2.3. Diagonal hydraulic turbines	371
8.2.4. Radial-axial turbines	376

8.2.5. Inlet and outlet elements of jet turbines	378
8.2.6. Suction pipes	386
8.2.7. Active turbine designs. Bucket turbines	389
8.2.8. Double-acting and inclined jet turbines	393
8.3. Fundamentals of the theory of hydraulic turbines	396
8.3.1. Kinematics of flow in the impeller of jet turbines	396
8.3.2. Basic energy equation of hydraulic turbines	399
8.4. Turbine working systems	401
8.4.1 Laws of similarity of operating modes of hydraulic turbines	401
8.4.2. The given parameters of the turbines	404
8.4.3. Speed factor	405
8.5. Characteristics of hydraulic turbines	406
8.5.1. Types of characteristics	406
8.5.2. Recalculation of parameters from the model to the conditions of nature	413
8.5.3. Comparison of different turbines by their characteristics	416
8.6. Cavitation in hydraulic turbines	418
8.6.1. The phenomenon of cavitation	418
8.6.2. Cavitation coefficient. Suction height	421
8.7. Selection of hydraulic turbines	423
8.7.1. Selection of jet turbines according to the given parameters	423
8.7.2. Information about hydraulic turbines manufactured in China	432
Chapter eighth Test Questions	436
GLOSSARY	441
Applications	452
List of used literature	461

**BAZAROV DILSHOD RAYIMOVICH
URALOV BAXTIYOR RAXMATULLAYEVICH
KAN EDUARD KLIMENTIYEVICH
XIDIROV SAN'ATJON QO'CHQOROVICH
ARTIKBEKOVA FOTIMA KUCHKAROVNA**

GIDROMASHINALAR

/ DARSLIK /

Ushbu o'quv qo'llanma 5450600-"Irrigatsiya tizimlarida gidroenergetika ob'ektlari" bakalavriat ta'lim yo'nalishida taxsil olayotgan talabalar uchun mo'ljallangan

Muharrir: M.Mustafoyeva

*Bosishga ruxsat etildi: 01.03.2021 y. Qog'oz o'lchami: 60x84 - 1/16
Hajmi: 30,5 bosma taboq. 50 nusxa. Buyurtma № 7946
TIQXMMI bosmaxonasida chop etildi.
Toshkent-100000. Qori-Niyoziy ko'chasi 39 uy.*

BELGI UCHUN
