

VII BOB

SUYUQLIK OQIMINING QUVURLAR SISTEMASIDAGI BYEQAROR HARAkATI

7.1. 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

$$\frac{\partial p}{\partial t} = 0 \text{ yoki } \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0.$$

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:

$$\omega = f_1(s) \quad (7.1)$$

b) umuman olganda, quvurdagi Q sarf vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradi, lekin, bu holatda quvurning 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:

$$Q = const \text{ (oqim bo‘ylab berilgan vaqt uchun)} \quad (7.2)$$

demak, Q sarf bitta o‘zgaruvchi funktsiyasi deb qabul qilinadi:

$$Q = f(t) \quad (7.3)$$

v) yuqoridagiga asoslanib,

$$v = \frac{Q}{\omega}$$

ekanligini e’tiborga olib,

$$v = f(s) \quad (7.4)$$

umuman,

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{f_2(t)}{f_1(s)} = f(s, t) \quad (7.5)$$

Umuman, amaliyotda biz tariflagan suyuqlikning beqaror harakati sodda modeli uchraydi. Lekin, yana 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:

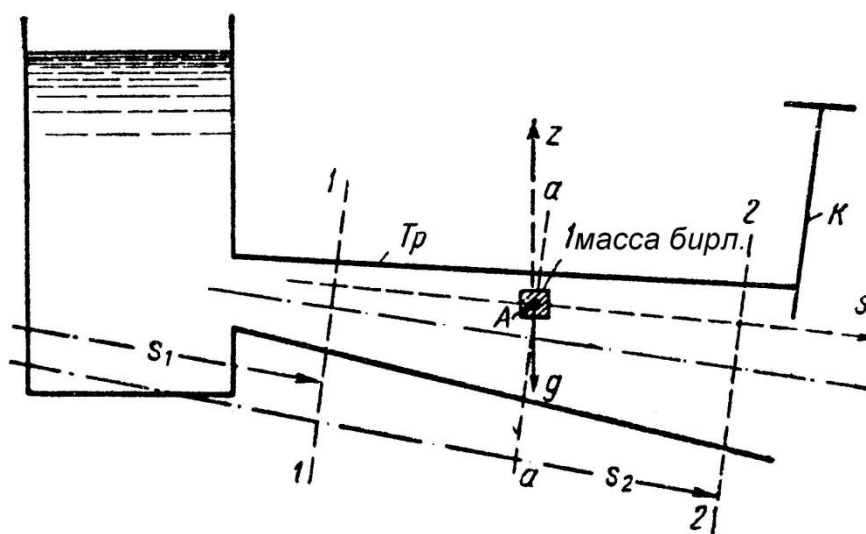
1. Suyuqlikning siqiluvchanligini va quvur devorining deformatsiyalanishini hisobga olmasdan, uning naporli tekis o'zgaruvchan beqaror harakati;
2. Suyuqlikning siqiluvchanligi va u harakatlanayotgan quvurning deformatsiyalanishi hisobga olinib, uning naporli beqaror harakati o'rganiladi. Bunda gidravlik zarb jarayoni bilan tanishamiz;
3. Suvning tinch beqaror naporsiz harakati.

I. SUYUQLIK SIQILMAS DYEB QARAB, QUVURLARNING DYeFORMASIYALANMAYDIGAN HOLATI UChUN NAPORLI BYeQAROR HARAkAT

7.2. BYeQAROR HARAkATLANAYoTGAN ELYeMYeNTAL OQIMChALAR TO'PLAMI UChUN BYeRNULLI TYeNGLAMASI (suyuqlikning lokal inertsiyakuchlarini 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. (7.1 rasm).



7.1 rasm. Bernulli tenglamasini keltirib chiqarishga doir

Bu quvurlar sistemasi (truboprovod)da mahalliy napor yo‘qolishi mavjud emas, deb qabul kilamiz.

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 kilamiz. Truboprovodda beqaror harakat amalga oshmokda.

Sistemada truboprovod devori absolyut qattiq, deb qabul kilamiz va suyuqlikni siqilmaganligini e’tirof etamiz, bunday holatda oqimning v o‘rtacha tezligi fakat kordinataga bog‘liq bo‘ladi.

Sistemada ixtoriy $a-a$ 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 (inertsiya 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)

$$\phi_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial s} - \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (7.6)$$

ϕ_x – xajmiy kuchning bizning holatimizda fakat og‘irlik kuchining s o‘qqa proektsiyasi bo‘lib, uning potentsial funktsiyasi:

$$U = -gz \quad (7.7)$$

bundan

$$\phi_x = \frac{\partial U}{\partial s} = -\frac{\partial}{\partial s}(gz) \quad (7.8)$$

$\frac{\partial u}{\partial t}$ – suyuqlik zarrachasining tezlanishi; bu kattalik qaralayotgan suyuqlikning

birlik massasi inertsiya kuchining teskari ishora bilan olingan qiymatiga tengdir;

(3.8) ifodalarga asoslanib yozishimiz mumkin:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial t} = u \frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial u}{\partial t} \quad (7.9)$$

(7.8) va (7.9) ifodalarni (7.6) ifodaga qo‘yamiz:

$$-\frac{\partial}{\partial s}(gz) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (7.7)$$

Tenglamani birlik massaga (g kattalikka) bo‘lamiz:

$$\frac{\partial}{\partial s} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right) + \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (7.11)$$

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.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds \quad (7.12)$$

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 (7.12) tenglama quyidagi ko‘rinishga keladi.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \pm h'_{\Delta E} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_l + \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds \quad (7.13)$$

Bunda quyidagi belgilash kiritamiz:

$$a) \quad \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} dS = h'_i \quad (7.14)$$

oxirgi ko‘rinishda (7.13) ifoda o‘rniga quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\boxed{z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \pm h'_{\Delta E} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_i + h'_i} \quad (7.15)$$

h'_i kattalikni dQ elementar sarf orqali ifodalash uchun quyidagilarni yozamiz:

$$dQ = u\delta\omega; \quad u = \frac{dQ}{d\omega} \quad (7.16)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\lambda}{\delta\omega} \frac{\partial(dQ)}{\partial t} \quad (7.17)$$

Bundan

$$h'_i = \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds = \frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{1}{\delta\omega} \frac{\partial(dQ)}{\partial t} ds \quad (7.18)$$

yoki $\frac{\partial(dQ)}{\partial t}$ – s kordinataga bog‘liq bo‘lmaganligi uchun

$$b) \quad h'_i = \frac{1}{g} \frac{\partial(dQ)}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial s}{\delta\omega} \quad (7.19)$$

Shunday kilib, 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 inertsiya kuchini yozamiz:

$$I' = -\frac{1}{g} \frac{du}{dt} \quad (7.20)$$

bunda $\frac{1}{g}$ – suyuqlikning burchak og‘irligi massasi.

(7.20) ifodani (7.9) ni hisobga olib, quyidagicha yozish mumkin:

$$I' = -\frac{1}{g} \left[\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial u}{\partial t} \right] \quad (7.21)$$

yoki

$$I' = -\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2g} \right) - \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} = I'_\kappa + I'_\lambda \quad (7.22)$$

bunda,

$$I'_\kappa = -\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{u^2}{2g} \right) = f_1 \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right) \quad (7.23)$$

$$I'_\lambda = -\frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial t} = f_2 \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) \quad (7.24)$$

belgilanishlar kiritdik.

Ko‘rinib turibdiki, solishtirma inertsiya kuchi I' ikki kesimdan iborat.

$I'_\kappa = f_1 \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right)$ – solishtirma inertsiya 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.

$$\delta h_u = - \left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) \quad (7.25)$$

Bundan ko‘rinib turibdiki, Bernulli tenglamasiga kiruvchi naporlar farqi $\partial u / \partial s$ hususiy xosila bilan aniqlanuvchi solishtirma inertsiya kuchining konvektiv hadlarini hisobga oladi:

$I'_\lambda = f_2 \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)$ – solishtirma inertsiya 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.

(7.24) ifodani ds ga ko‘paytirib 1-1 kesimdan 2-2 kesimgacha integrallab, h'_i kattalikni olamiz. Shu sababli, uni inertsiya kuchining lokal qismini hisobga oluvchi *inertsion napor* deb ataymiz. Olingan (7.15) tenglama *lokal inertsiya 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.

7.3. LOKAL INERTSIYA 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 tezlanishlarni hisobga olmaymiz, shu sababli, bu kesim bo‘ylab yo‘nalgan lokal inertsiya kuchlari tashkil etuvchilari ham hisobga olinmaydi.

Bernulli tenglamasini §7.2-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.

$$(I) \quad z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_l + h_i \quad (7.26)$$

h_i – lokal inertsiya kuchini 1-1 va 2-2 kesimlar oralig‘ida yengib o‘tish uchun sarflanadigan napordir.

$$h_i = \frac{\int_{\omega} (h'_i) \gamma dQ dt}{\gamma Q dt} = \frac{\int_{\omega} \left[\frac{1}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial u}{\partial t} ds \right] dQ}{Q} = \frac{1}{gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} u \frac{\partial u}{\partial t} d\omega \right] ds \quad (7.27)$$

h_i – kattalikni v orsali ifodalab, (7.27) ifodani quyidagicha ifodalaymiz:

$$A) \quad h_i = \frac{\alpha_0}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial v}{\partial t} ds \quad (7.28)$$

yoki

$$\begin{aligned}
h_i &= \frac{1}{gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} u \frac{\partial u}{\partial t} d\omega \right] ds = \frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} \frac{\partial(u^2)}{\partial t} d\omega \right] ds = \\
&= \frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\int_{\omega} \frac{\partial(u^2 d\omega)}{\partial t} \right] ds = \frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\frac{\partial}{\partial t} \int_{\omega} u^2 d\omega \right] ds = \quad (7.29) \\
\frac{1}{2gQ} \int_{s_1}^{s_2} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_0 v^2 \omega) \right] ds &= \frac{\alpha_0}{gQ} \int_{s_1}^{s_2} (v\omega) \frac{\partial v}{\partial t} ds = \frac{\alpha_0}{g} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial v}{\partial t} ds
\end{aligned}$$

quyidagi $\frac{\partial Q}{\partial t} = \omega \frac{\partial v}{\partial t}$ munosabatni hisobga olib,

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{\omega} \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (7.30)$$

(7.28) ifodani quyidagicha ifodalash mumkin

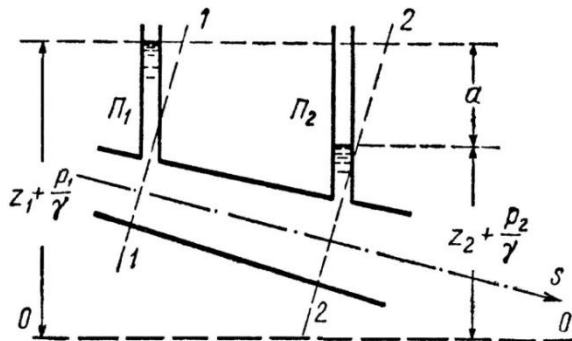
$$B) \quad h_i = \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{\omega} \quad (7.31)$$

Bunda formulaga kiruvchi integral

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{ds}{\omega} \quad (7.32)$$

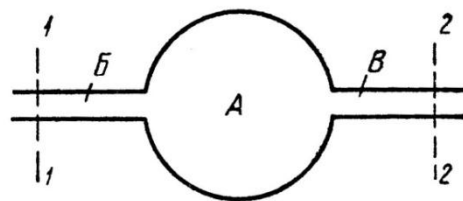
Ma'lum geometrik shakldagi truboprovod uchun aniq geometrik ma'noga ega.

Endi, Bernulli tenglamasining ikkinchi shaklini keltiramiz. Buning uchun ikkita Π_1 va Π_2 pezometr o'rnatilgan truboprovodni 7.2-rasmda tasvirlaymiz.



7.2 rasm: Bernulli tenglamasini tushuntirish

(7.35-ifoda)



7.3 rasm: Bernulli tenglamasini tushuntirish

(7.35-ifoda)

Parametrlar farqini yozamiz:

$$a = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \quad (7.33)$$

(7.26) formulaga asosan

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) = \frac{\alpha}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + h_i + h_l \quad (7.34)$$

bundan,

$$(II) \quad \boxed{a = \frac{\alpha}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + h_i + h_l;} \quad (7.35)$$

Bu oqimning beqaror harakati uchun Bernulli tenglamasining ikkinchi ko'rinishi. Bu keltirilgan tenglamalar (7.26) va (7.35) 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 (7.3-rasm) va bu soha integralning kichik qiymati bilan harakaterlansa, u holda (7.31) formulaga kiruvchi lokal inertsiya 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 inertsiya kuchlari fakat B va V sohalarda (7.3-rasm) hisobga olinadi.

1. (7.26) va (7.35) ifodalarining (3.71) ifodadan farqi bularda 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 tutiladi:

a) h_i hadni hisoblashda lokal inertsiya 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.

7.4. INERTSIYA 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 kilamiz.

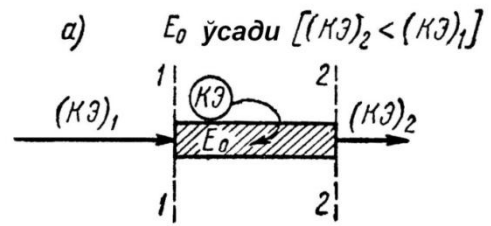
Har bir vaqt oralig'ida bu hisobiy xajm malum kinetik energiyaga ega bo'ladi. Buni biz Ye_0 deb belgilaymiz va *suyuqlikning hisobiy xajmi kinetik inergiyasi* deb ataymiz.

Quyidagilarni tasdiqlashimiz mumkin:

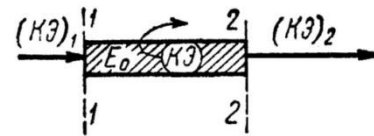
- a) qaralayotgan bo'limda suyuqlik zarrachalari tezligi barqaror harakatlanayotganda vaqt davomida o'zgarmaganligi sababli, Ye_0 – suyuqlikning hisobiy xajmi kinetik energiyasi vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi, yani $Ye_0 = const$;
- b) oqimning tezlanuvchan harakatida esa vaqt davomida Ye_0 – energiya o'zgaradi. Ye_0 – energiya miqdorini oshishi, «*hisobiy hajm*»ning 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'ida harakatlanayotgan suyuqlik energiyasini o'ziga olib, uni akumilyatsiyalaydi (7.4 rasm). Shu sababli $(K\mathcal{E})_2$ miqdor nisbatan kichik qiymatga ega bo'ladi. $(K\mathcal{E})_1$ miqdorning KE qismi 1-1 va 2-2 kesimlar oralig'idagi «*hisobiy hajm*»da qolib ketadi.

s) vaqt mobaynida sekinlashuvchan harakatda Ye_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. (7.4, b-rasm).



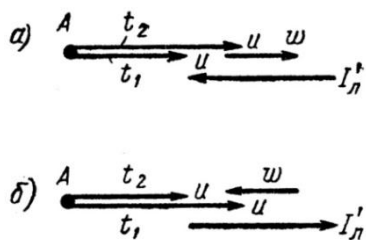
б) E_0 камаяди $[(KЭ)_2 > (KЭ)_1]$



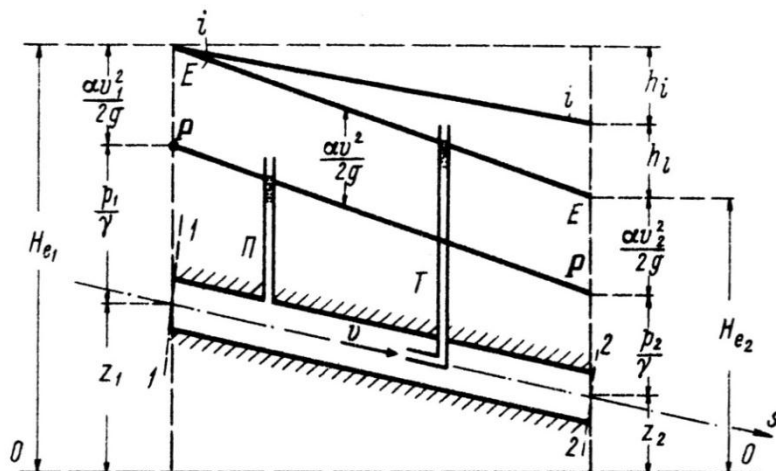
7.4 rasm. Inertsion naporni tushuntirishga doir.

Xulosa kilib 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 inertsiya kuchi oqimga teskari yo'nalgan bo'ladi. (7.5, a-rasm). Bunda ω bilan A zarracha tezlanishi ko'rsatilgan.



7.5-rasm. Inertsion naporni tushuntirish



7.6-rasm. Tezlanuvchan harakat uchun Bernulli tenglamasi interpretatsiyasi
P–pezometr, T– Pito nayi

Sekinlashuvchan harakatda esa h_l kattalik manfiy bo‘lib, I_n lokal inertsiya kuchi oqim bo‘ylab yo‘naladi. (7.5-rasm).

Yuqoridalarga asoslanib, quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

1. Tezlanuvchan harakatda 1 – 1 kesimdagi to‘liq napor quyidagilarga sarflanadi:

$$H_{e_1} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} \quad (7.36)$$

a) 2-2 kesimda to‘liq naporni shaklantirishga;

b) 1-1 va 2-2 kesimlar oralig‘idagi ishkalanish kuchlari ishiga, u issiqlikka aylanib tarqalib ketadi. Bu miqdor h_l ga teng bo‘lib, kaytib paydo bo‘lmaydi;

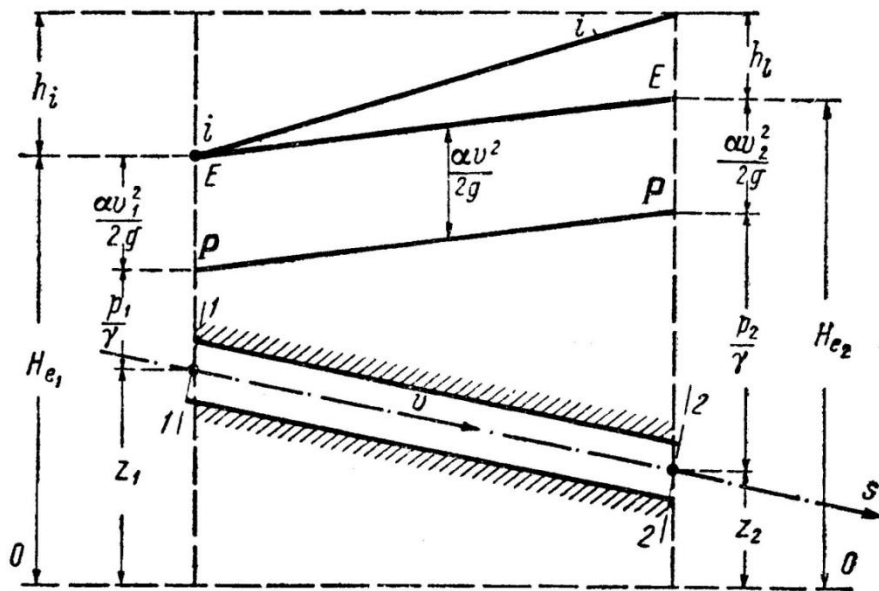
c) 1-1 va 2-2 kesimlar oralig‘idagi lokal inertsiya kuchlarni yengib o‘tishga, ya’ni suyuqlikning shu oraliqdagi kinetik energiyasini oshirishga; Bu miqdorni napor yo‘qolishi deb qaramaslik kerak.

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;



7.7-rasm. Sekinlashuvchan harakat uchun Bernulli tenglamasi interpretatsiyasi

Yuqoridilarga asoslanib, Bernulli tenglamasini quyidagicha interpretatsiya (tahlil) qilish mumkin:

- tezlanuvchan harakat misolida: 7.6-rasmda uzunlik bo'yicha tekis, lekin, vaqt davomida o'zgaruvchan harakat tasvirlangan:

$$H_{e_2} = H_{e_1} - h_l - |h_i|; \quad (7.37)$$

$$H_{e_1} = H_{e_2} + h_l + |h_i| \quad (7.38)$$

- harakat davomida sekinlashuvchi harakat uzunlik bo'yicha tekis, vaqt davomida sekinlashuvchi harakat 7.7-rasmda ifodalangan:

$$H_{e_2} = H_{e_1} + |h_i| - h_l; \quad (7.39)$$

$$H_{e_1} + |h_i| = H_{e_2} + h_l \quad (7.40)$$

Ko‘rinib turibdiki, sekinlashuvchan harakatda $h_l < h_i$ bo‘lgan holat uchun to‘liq napor oqim bo‘ylab oshib beradi.

Ye-Ye napor chizigi oqim bo‘yicha ko‘tarilib boradi. Rasmlardagi vaziyatlar fakat aniq bir vaqtga ta’luqliligini nazarda tutishimiz kerak.

7.5. SILINDRIK QUVURLARDAGI OQIMNING HARAKATINI HISOBLASH FORMULALARI

Silindrsimon quvurlar uchun qaralayotgan vaqt uchun

$$v_1 = v_2 \quad (7.41)$$

U holda Bernulli (7.35) tenglamasini qayta yozamiz:

$$(II)_{\text{silindr}} \quad a = h_l + h_i \quad (7.42)$$

(7.42) formulani o‘ng tomondagi ikki hadni ko‘rib chiqamiz.

1. h_l uzunlik bo‘yicha napor yo‘qolishi:

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} = \zeta_l \frac{v^2}{2g} \quad (7.43)$$

bunda ζ_l – uzunlik bo‘yicha qarshilik koeffitsienti shartli ravishda barqaror harakat formulalari asosida hisoblanadi.

2) h_i – tsilindrsimon truboprovodlarda lokal inertsiya kuchlarini hisobga oluvchi had

$$\omega = \text{const} \quad (\text{oqim uzunligi bo‘yicha})$$

shu sababli,

$$h_i = \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} \frac{\partial s}{\omega} = \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial \left(\frac{Q}{\omega} \right)}{\partial t} \int_{s_1}^{s_2} ds = \alpha_0 \frac{l}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (7.44)$$

chunki,

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial s} \frac{ds}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (7.45)$$

Silindrsimon truboprovodlar uchun $\frac{\partial v}{\partial s} = 0$ bo'lganligi uchun.

$$(A)_{tsilindr} \quad \boxed{h_l = \frac{\alpha_0 l}{g} \frac{dv}{dt}} \quad (7.46)$$

bunda

$$s_2 - s_1 = l \quad (7.47)$$

3) Hisoblash formulasining yakuniy ko'rinishi.

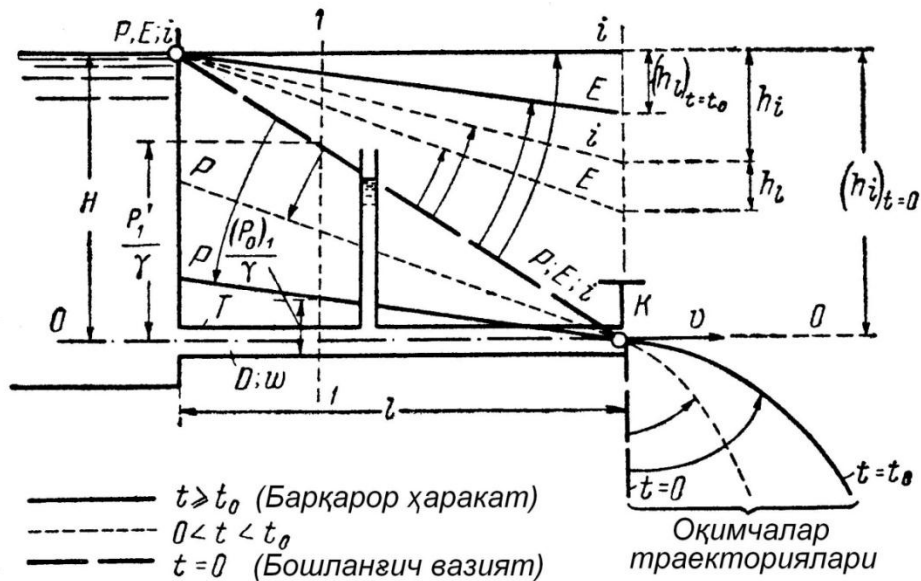
$$(II)'_{tsilindr} \quad a = \zeta_l \frac{v^2}{2g} + \frac{\alpha_0 l}{g} \frac{dv}{dt} \quad (7.48)$$

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 (7.48) tenglamadagi ζ_l o'rniga ζ_f to'liq qarshilik koeffitsienti qo'yiladi:

$$\zeta_f = (\zeta_l + \Sigma \zeta_m) \frac{v^2}{2g}$$

7.6. SUYUQLIKNING SILINDRSIMON QUVURLARDAN ATMOSFYERAGA OQIB CHIQISHI

Bu vaziyatni o'rganib chiqish uchun 7.8-rasmda tasvirlangan suyuqlik to'ldirilgan idishga T quvur va uning tugash kesimida K kran o'rnatilgan.



7.8-rasm. K kraning bironda to‘liq ochilishidan keyingi napor va pzetmetik chiziqlar deformatsiyasi

Faraz qilaylik, K kran bir onda to‘liq ochildi. Suyuqlikning oqib chiqishida ikki davrni ajratib ko‘rsatish mumkin.

Birinchi davr:

$$0 < t < t_0 \quad (7.49)$$

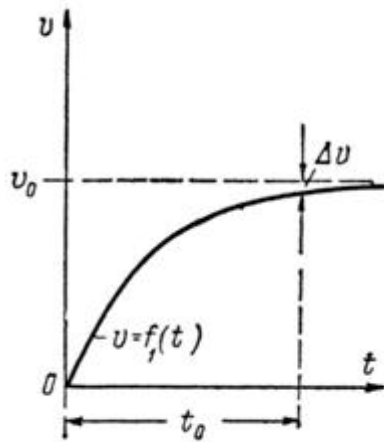
bunda, t_0 – sekundning bir ulushi bilan o‘lchanadi. Bu boshlang‘ich davr beqaror harakat bilan xarakterlanadi. N napor (7.8-rasm) bu davrda h_1 napor yo‘qolishiga va quvurning chiqish kesimidagi $v^2/(2g)$ tezlik naporini shakllantirishga sarflanadi. t_0 vaqt ichida N napor hisobiga suyuqlikning kinetik energiyasi bosqichma-bosqich oshib, noldan barqaror harakatga xos kattalikkacha ko‘tariladi.

Ikkinchi davr:

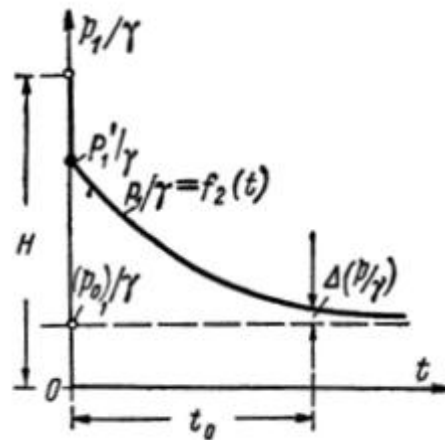
$$t \geq t_0 \quad (7.50)$$

Bu barqaror harakat davri. Bu holat bilan biz oldingi mavzularda tanishganmiz.

Birinchi davr – suyuqlikning quvurdagi harakati (II)'*tsilindr* tenglamaga asosan tadqiqot qilinishi mumkin.



7.9-rasm. *K* kran ochilgandan so‘ng 1-1 kesimda vaqt o‘zgarishi bilan tezlik o‘zgarishi



7.10-rasm. *K* kran ochilgandan so‘ng 1-1 kesimdagi *R* bosimning o‘zgarishi

Vaqt kran ochilgandan so‘ng hisoblanadi. Quvurga kirishdagi napor yo‘qolishi hisobga olinmaydi, fakat uzunlik bo‘yicha napor yo‘qolishi hisobga olinadi.

Tadqiqot natijalari quyidagicha:

1. *K* kran bir onda ochilgandan keyingi dastlabki lahzada suyuqlikning butun *N* napor suyuqlik massasi inertsiasini yengishga sarflanadi. Bunda quyidagilar o‘rinlidir:

$$h_i = H; v = 0; v^2/(2g); h_i = 0. \quad (7.51)$$

Demak, xulosa kilish mumkinki, dastlabki laxzada suyuqlik tinch holatda bo‘ladi. *Ye-Ye*, *R-R*, *i-i* chiziqlar bir biri bilan ustma-ust tushadi. (7.9-rasmdagi qalin uzun chiziqlar).

Quvurning tugash qismida suyuqlik, dastlabki vaziyatda nol tezlikka ega bo‘ladi. Bu «*oqib chiqish*» tezligidir. Suyuqlik quvurdan chiqishi bilan u pastga vertikal tushishi kerak.

2. *Ye-Ye*, *R-R*, *i-i* chiziqlar tarqala boshlashadi. *Ye-Ye* va *i-i* ko'tariladi. *R-R* pastlasha boshlaydi. (7.8-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 gorizontaal vaziyatni egallaydi. ($h_i = 0$) *Ye-Ye* 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, qaralayotgan vaqt mobaynida quvurdagi v tezlik va p/γ pezometrik balandliklar *I-I* kesimda 7.9- va 7.10-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. Fakat 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 kilib, kranning yopilishidagi *Ye-Ye*, *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

7.7. 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 inertsiyasi 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 inertsiyasi 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.

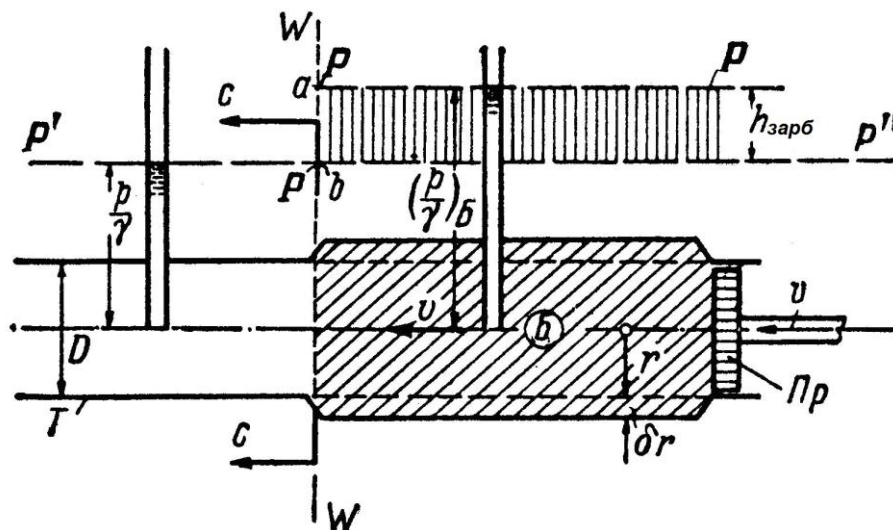
Gidravlik zarb xodisasi harakteriga suyuqlikning siqiluvchanligi va truboprovod devori gidromexanik bosim o'zgarishi bilan deformatsiyalanishi sezilarli tasir ko'rsatadi. Shu vaziyatni inobatga olgan holda quvurga o'rnatilgan K kranning ochilishi yoki yopilishida absolyut qattiq zarbdan sifat jixatdan 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.

7.8. GIDRAVLIK ZARB XODISASINI TASVIRLASH

Faraz qilaylik, gorizontal vaziyatdagi T quvurga Pr porshen kiritilgan (7.11- rasm).



7.11-rasm. Pr porshenning v tezlik bilan harakati boshlangandan so'ng B tasirning (s tezlik bilan) tarqalishi

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.

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 siqiluvchanligi va quvur devori deformatsiyalanishi natijasida ro‘y bersa, ikkinchi tomondan suyuqlikning inertsiya 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) $W-W$ vertikal dan 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.

$$c \gg v \quad (7.52)$$

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.

(7.52) 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 $h_{3ap\bar{o}}$ balandlik bilan o'lchanuvchi yuqori qiymatga ega bo'ladi:

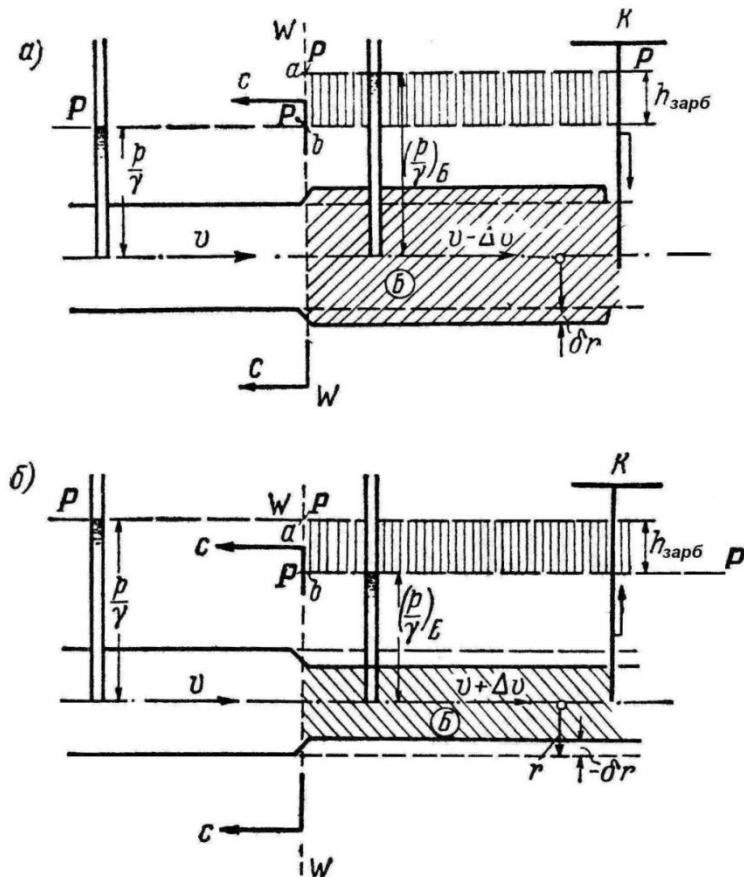
$$h_{3ap\bar{o}} = \left(\frac{p}{\gamma} \right)_B - \frac{p}{\gamma} \quad (7.53)$$

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'lqinini ko'rsatuvchi $h_{3ap\bar{o}}$ 7.12-rasmda uzun vertikal chiziqlar bilan to'rtburchak shaklida ifodalanadi; bunda ab to'lqin 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 7.12, a -rasmda tasvirlangan.



7.12-rasm. Gidravlik zarb xodisasi:

a) *K* kran yopilganda; b) *K* kran ochilganda.

Bu rasmda zadvijskaning qisman yopilishi, yani tezlik v quvurning tugashida 0 gacha emas, balki $(v - \Delta v)^2$ kattaligigacha kamayadi. Bunda $\pm \Delta v$ – tezlik o‘zgarishi.

Agar zadvijska ochilsa, v tezlik $(v + \Delta v)$ ga ohsa, 7.12, *b*-rasmdagi vaziyat ro‘y beradi. Bu to‘lqin 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 gorizontal tekislikka bosiladi. Prujina tekislikka tekkunga qadar uning bog‘lamlari orasidagi masofa deyarli bir xil bo‘ladi. Prujina gorizontal tekislikka tekkandan keyin 7.13-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_{zap} 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:

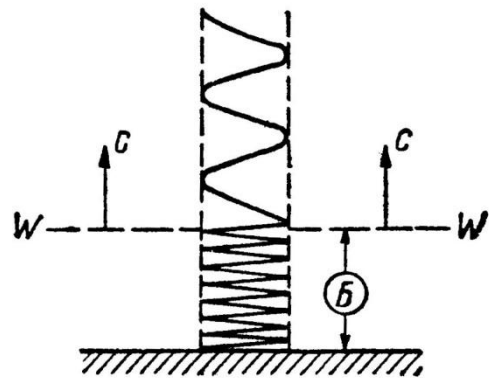
boshqaruv yoki to‘shish inshootlarining keskin ochilishi yoki yopilishi;

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.



7.13 rasm. Gidravlik zarbni tushuntirish

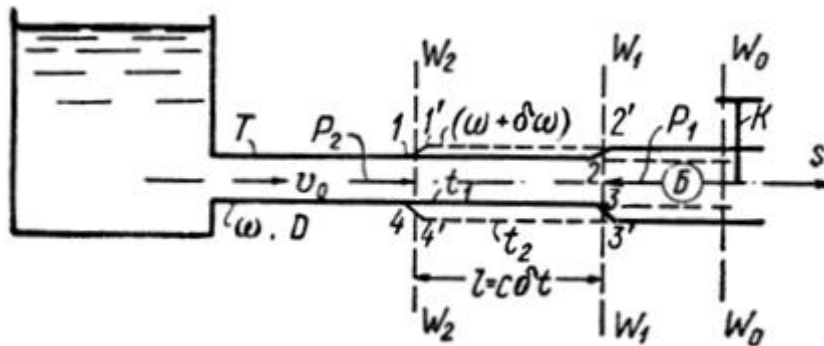
7.9. GIDRAVLIK ZARB KATTALIGI VA UNING TARQALISH TEZLIGINI HISOBLASH FORMULALARI

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 (7.14-rasm).

Faraz qilaylik, $t = 0$ vaziyatda K kranning ochiqqligi 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

$$l = cdt \quad (7.54)$$



7.14-rasm. (7.50) va (7.51) 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.

1^o. 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

$$m_2 - m_1 = M_{t_2} - M_{t_1} \quad (7.55)$$

$m_2 - m_1$ farq bu dt vaqt oralig‘ida $W_1 - W_2$ kirib kelgan suyuqlik massasidir; $M_{t_2} - M_{t_1}$ esa dt vaqt oralig‘ida $W_1 - W_2$ bo‘limdagi suyuqlik massasining ortishi.

Bu yuqoridagi ifodaga kiruvchi kattaliklarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$m_2 = \frac{\gamma}{g} \omega v_0 dt \quad (7.56)$$

$$m_1 = \frac{(\gamma + d\gamma)}{g} (\omega + d\omega) (v_0 + dv) dt \quad (7.57)$$

$$M_{t_2} = \frac{(\gamma + d\gamma)}{g} (\omega + d\omega) (c dt) \quad (7.58)$$

$$M_{t_1} = \frac{\gamma}{g} \omega l = \frac{\gamma}{g} \omega (c dt) \quad (7.59)$$

bunda ω , γ , v_0 – $W_2 - W_2$ vertikal tekislikdan chapga harakatlanayotgan suyuqlikning harakatdagi kesim yuzasi, xajmiy og‘irligi va tezligi:

$(\omega + d\omega)$, $(\gamma + d\gamma)$, $(v_0 + dv)$ – $W_1 - W_1$ tekislikdan o‘ngdagi suyuqlik uchun kesim yuzasi, xajmiy og‘irlik va tezlik, $\gamma/g = \rho$ suyuqlik zichligi bu munosabatlari (7.56), (7.58) ifodalarni (7.55) ga qo‘yamiz va nihoyatda kichik bir qator hadlarni tashlab yuborib, quyidagiga ega bo‘lamiz.

$$\Delta v = - \left(\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{d\omega}{\omega} \right) c \quad (7.60)$$

2⁰. 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:

$$(HM)_{t_1} = M_{t_1} g_0 \quad (7.61)$$

(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

$$(HM)_{t_2} = M_{t_2} (\nu_0 + \Delta\nu) \quad (7.62)$$

(KII) $_2 - P_2$ kuch impulsining dt vaqt oralig‘idagi miqdorining s o‘qqa proektsiyasi, bunda shubhasiz quyidagini yozish mumkin:

$$(KII)_2 = P_2 dt = p \omega dt \quad (7.63)$$

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.

(KII) $_1 - P_1$ kuch impulsining dt vaqt oralig‘idagi s o‘qqa proektsiyasi, shubhasiz

$$(KII)_1 = -P dt = -(P + P_{y\partial})(\omega + \delta\omega) dt \quad (7.64)$$

bunda $(P + P_{y\partial}) - W_1 - W_2$ tekislikdan o‘ngdagi gidrodinamik bosim;

$$P_{y\partial} = \gamma h_{y\partial}$$

Harakat miqdori tenglamasiga asosan:

$$(XM)_{t_2} - (XM)_{t_1} = (KII)_2 - (KII)_1 \quad (7.65)$$

Bu ifodaga (7.61) va (7.64) ifodalarni qo‘yib, keyin (7.59) va (7.65) ifodalarni hisobga olib, bir qancha kichik hadlarni tashlab yuborib, harakat tenglamasini (7.55) ko‘rinishda yozamiz.

$$h_{zap\delta} = \frac{P_{zap\delta}}{\gamma} = -\frac{c}{g} d\nu \quad (7.66)$$

3°. (7.65) va (7.66) tenglamalarni birgalikdagi yechimi.

$$\frac{P_{3ap\delta}}{\gamma} \frac{g}{c} = \left(\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{d\omega}{\omega} \right) c \quad (7.67)$$

bunda

$$\frac{d\gamma}{\gamma} = \frac{P_{3ap\delta}}{E_{\text{xc}}} \quad (7.68)$$

$$\frac{d\omega}{\omega} = \frac{D P_{3ap\delta}}{e E_T} \quad (7.69)$$

(7.68), (7.69) ifodalarni (7.67) ga qo'yib, uni s ga nisbatan yechib, biz izlanayotgan (7.72) ifodani olamiz.

$$h_{3ap\delta} = \frac{P_{3ap\delta}}{\gamma} = -\frac{c}{g} d\nu \quad (7.70)$$

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'lqin sustlashuvi bo'ladi. Xuddi mana shu ifoda *ko'rinishida gidravlik zarb kattaligi* ifodalanadi.

Kran to'liq yopilgan holatda

$$\Delta\nu = -\nu_0 \quad (7.71)$$

bo'lib, gidravlik zarb quyidagicha aniqlanadi.

$$h_{3ap\delta} = \frac{c}{g} \nu_0$$

b) s qo'zg'alishning tarqalish tezligi kattaligini aniqlash formulasi (aylana quvur uchun):

$$c = \sqrt{\frac{g}{\gamma} E_{\text{xc}}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{D E_{\text{xc}}}{e E_T}}} \quad (7.72)$$

bunda:

E_{xc} – suyuqlikning xajmiy elastikligi moduli;

E_T – quvur devori elastikligi moduli;

D – quvur ichgi deametri;

e – quvur devori qalinligi.

$$\sqrt{\frac{g}{\gamma} E_{\text{жс}}} = c_0 \quad (7.73)$$

Bu kattalik ovozining tinch holatdagi suyuqlikda tarqalish tezligi –suv uchun

$$c_0 = 1425 \text{ m/s} \quad (7.74)$$

Bu ifodani hisobga olsak, suv bilan to‘liq harakatlanayotgan ingichka devorli quvur uchun

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{D E_{\text{жс}}}{e E_T}}}, \text{ m/s} \quad (7.75)$$

Demak, berilgan suyuqlik uchun

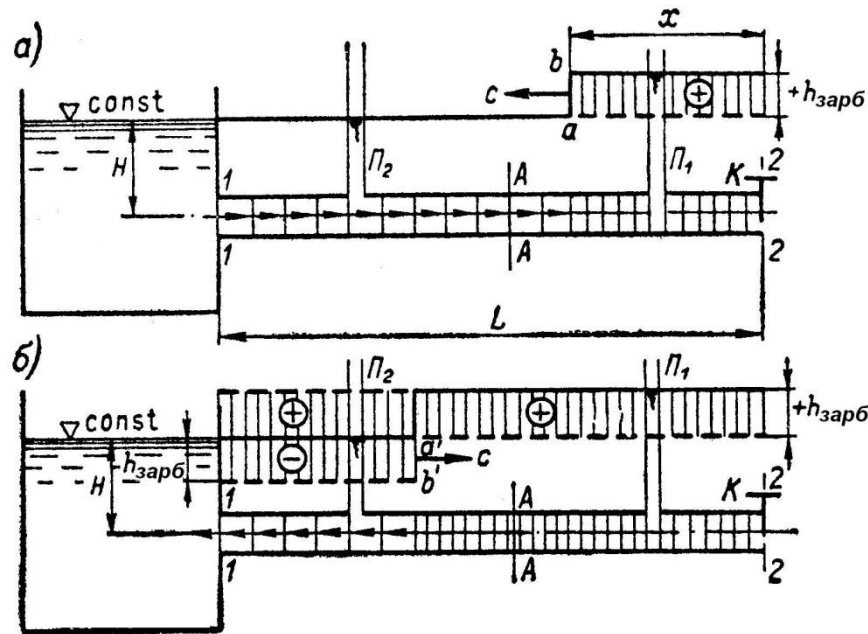
$$c = f\left(\frac{D}{e} \div \frac{E_{\text{жс}}}{E_T}\right) \quad (7.76)$$

Bu s kattalik bir necha yuz yoki ming metr/sek kattalik bilan o‘lchanishi mumkin.

7.10. TO‘G‘RI (BOSHLANG‘ICH) VA QAYTARILGAN GIDRAVLIK ZARBLAR. QUVURNING QO‘ZG‘ALMAS KO‘NDALANG KESIMIDA GIDRAVLIK ZARB RO‘Y BERGANDA GIDROMYEXANIK 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 $a)$ quvurning ichida suyuqlik to'ldirilgan holatni ko'rib chiqamiz (qarang 7.14-rasm 1-1 va 2-2 kesimlar).



7.15-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'liqin paydo bo'ladi.

Bu to'liqin 1-1 kesimga yetib borishi bilan bu kesimda xuddi shu to'liqinni oynadagi aksi kabi 180^0 ga burilgan $a'b'$ "peshonali" s tezlik bilan musbat to'liqinga qarshi yo'nalishda harakatlanayotgan (7.15, b -rasm) manfiy to'liqin paydo bo'ladi. To'g'ri (boshlang'ich) to'liqining musbat bosimi manfiy to'liqin bosimi bilan qo'shiladi. Natijada, qaytarilgan to'liqin egallab turgan qaralayotgan uchastkadagi berilgan vaqtda gidravlik zarb tufayli paydo bo'lgan bosim nolga teng bo'ladi. (Π_2 ga qarang).

Bu manfiy to'liqin (2-2) kesimga yetib borishi bilan bu to'liqinga aks ko'rinishida s tezlik bilan unga teskari yunalgan manfiy to'liqin paydo qiladi.

Shuni ta'kidlash mumkinki, doim ochiq tomondagi quvurning 1-1 kesimida xar doim kaytarilgan teskari ishorali to'liqin paydo bo'lsa, yopilgan quvur tomonidan 2-2 kesimda xuddi shu to'liqin ishorasidagi, to'g'ri to'liqinlardagi kabi to'liqinlar paydo bo'ladi.

ab to'liqin "peshonasini" 2-2 kesimdan 1-1 kesimgacha bo'lgan masofani bosib o'tish t_0 bilan belgilaymiz.

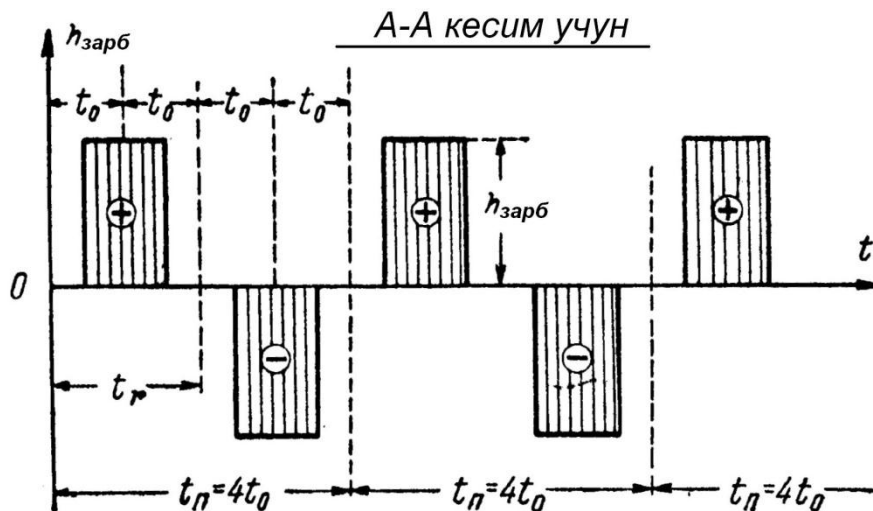
$$t_0 = \frac{L}{c} \quad (7-77)$$

bunda L – quvur uzunligi. Bunda quyidagilarni tanlaymiz:

- a) $t = t_0$ vaqt vaziyatida (bu vaqt kran yopilgan vaqtdan hisoblanadi), quvurning butun uzunligi bo'ylab bosim bir xil bo'lib, $+h_{3ap\bar{o}}$ 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, $-h_{3ap\bar{o}}$ 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'liqinning o'tish vaqtining to'rtga ko'paytirilganiga teng.

$$t_n = 4l_0 = 4 \frac{L}{c}$$

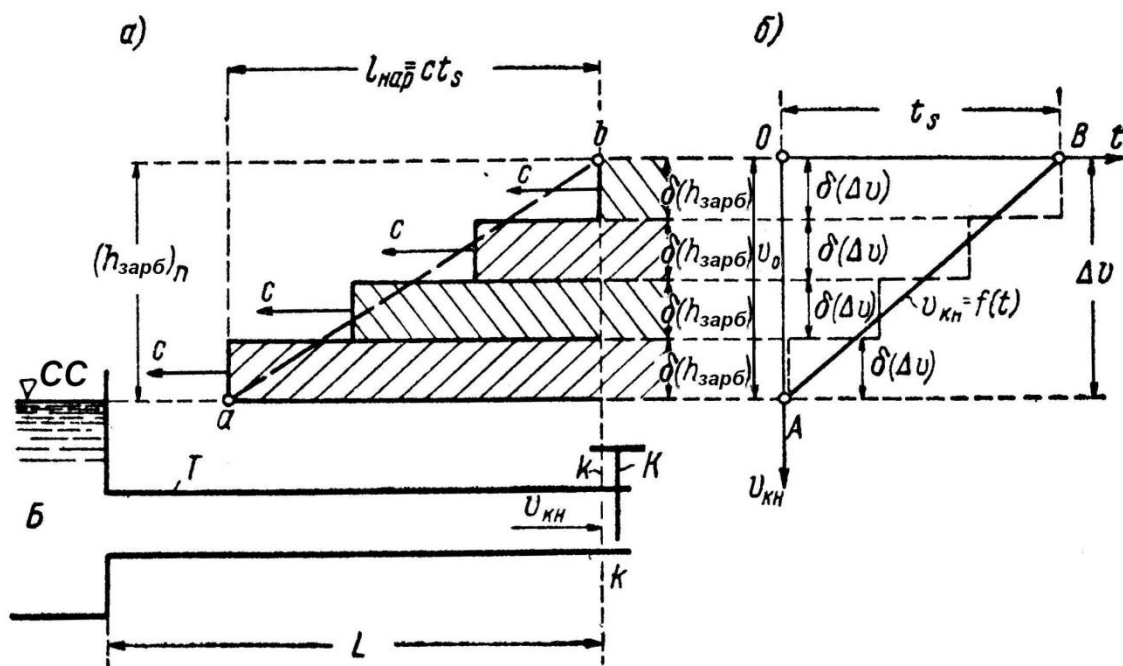


7.16-rasm. Quvurning qo'zg'almas ko'ndalang kesimdagi gidromexanik bosim tebranishi.
(gidravlik zarb ro'y berganda)

Agar quvurda A-A qo'zg'almas ko'ndalang kesim tanlab olinsa, bu kesimda bosimning vaqt buyicha o'zgarishi 7.16-rasmda ko'rsatilgidek ro'y beradi. Bunday tebranish ideal holatdagi suyuqliklar uchun o'rinlidir. Real suyuqliklar uchun tebranish bosqichma-bosqich so'nib borishi kerak.

7.11. 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 (7.17, a-rasm).



7.17-rasm. K kranning sekin-asta yopilishi holatida gidravlik zarbning oshishi

Truboprovodning tugashiga oʻrnatilgan K kran bosqichma-bosqich shunday yopiladiki, quvurning 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 quvurning 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.

$$(h_{zarb}) = \frac{c}{g} \delta(\Delta v) \quad (7.78)$$

Quvurga soʻngi ($h_{3ap\bar{o}}$) elementar gidravlik zarbni borgan t_s vaqtda, bosim oshishi pogʻonali grafigiga ega boʻlamiz. (7.17, *a*-rasmda uzoq chiziqlar bilan ifodalangan.

Bu holatda,

$$(h_{3ap\bar{o}})_m = \frac{c}{g} v_0 \quad (7.79)$$

$(h_{3ap\bar{o}})_m$ – toʻliq gidravlik zarb deb ataladi.

7.17, *a*-rasmdagi grafikdan quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

a) kran toʻliq yopilgandagi t vaqtda kran atrofida toʻliq gidravlik zarb paydo boʻladi:

$$(h_{3ap\bar{o}})_m = \sum d(h_{3ap\bar{o}}) = \frac{c}{g} v_0 \quad (7.80)$$

Bu kattalik miqdori bu yerda keyinchalik ham saqlanib qoladi;

b) toʻliq zarbning oʻsish uzunligi, yani toʻlqin grafigi uzunligi, bu oraliqda bosim noldan $(h_{3ap\bar{o}})_m$ gacha oshadi.

$$l_{ycuu} = ct_s \quad (7.81)$$

Endi pogʻona balandligi $\delta(\Delta v)$ ni nolgacha kamaytiramiz, yani pogʻonali grafikni *AV* toʻgʻri chiziqqa yakinlashtiramiz (7.17, *b*-rasm).

Bunda (7.80) va (7.81) formulalar uz kuchini saqlab koladi, grafikda esa “peshona” koʻrinish qirrali shakl oladi. 7.17, *a* va 7.18-rasmlarda *ab* chiziq bilan koʻrsatilgan.

Shuni takidlash keraki, kran, bosqichma-bosqich yopilganda quvurning tugash kesmidagi v_{KH} tezlik chiziqli qonuniyat asosida kamayib, quyidagiga ega boʻlamiz:

a) toʻlqin “peshona”si qiya *ab* chiziq shaklida boʻladi;

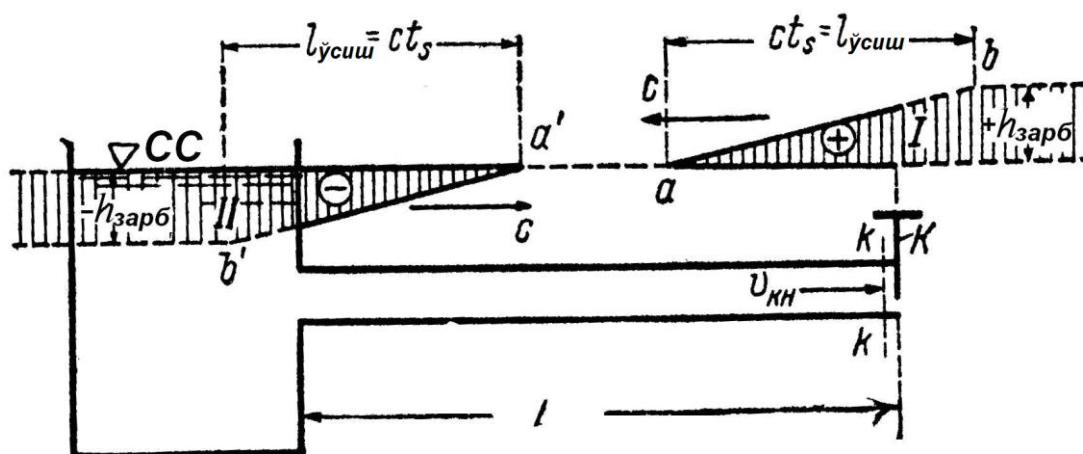
b) bu “utkir kiral shakl peshona” uzunligi $l_{ycuu} = ct_s$;

c) toʻliq zarb t_s vaqt vaziyatida paydo boʻlib, 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 7.18-rasmdan foydalanamiz.



7.18-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 quvurning ikqilangan qiymatidan katta bo‘ladi.

$$l_{ycuu} > 2L \quad (7.82)$$

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 zarbto‘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:

$$(h_{3ap\bar{o}})_n = \frac{c}{g} v_0$$

To‘liq bo‘lmagan gidravlik zarb esa

$$(h_{3ap\bar{o}})_{m.\bar{o}} < (h_{3ap\bar{o}})_m \quad (7.83)$$

yoki

$$(h_{3ap\bar{o}})_{m.\bar{o}} < \frac{c}{g} v_0 \quad (7.84)$$

To‘liq bo‘lmagan zarbning paydo bo‘lish zarbi

$$ct_0 > 2L \quad (7.85)$$

yoki

$$\boxed{t_s > t_r} \quad (7.86)$$

bunda

$$t_r = \frac{2L}{c} \quad (7.87)$$

bunda t_r – bosim to‘lqining ruparasidagi nuqtaning idishgacha va idishdan orqaga krangacha o‘tish masofasi uchun ketgan vaqt. To‘liq bo‘lmagan gidravlik zarb $(h_{3ap\bar{o}})_{m.\bar{o}}$ kattaligi t_r vaqtdagi gidravlik zarb kattaligi $(h_{3ap\bar{o}})$ ga teng.

Vaqt t_r tugashi bilan gidravlik zarb o‘sishtan to‘xtaydi (kranning yopilishi davom etsa ham).

$(h_{3ap\bar{o}})$ kattalikni quyidagicha munosabatdan aniqlaymiz.

$$\frac{(h_{3ap\bar{o}})_r}{(h_{3ap\bar{o}})_m} = \frac{t_r}{t_s} \quad (7.88)$$

bundan

$$(h_{3ap\bar{o}})_r = \frac{t_r}{t_s} (h_{3ap\bar{o}})_m \quad (7.89)$$

(7.89) formula $(h_{3ap\bar{o}})$ o'rniga $(h_{3ap\bar{o}})_{m.\bar{o}}$ va t_r hamda $(h_{3ap\bar{o}})_m$ lar o'rniga ularning (7.87) va (7.79) ifodalaridagi qiymatlarni qo'yamiz:

$$(h_{3ap\bar{o}})_{m.\bar{o}} = 2 \frac{\nu_0 L}{gt_s} \quad (7.90)$$

Bu formuladan ko'rinib turibdiki, truboprovoddagi bosimni kamaytirish uchun truboprovod uzunligi (L)ni kamaytirib kranning yopilish vaqti t_s ni oshirish kerak.

VII bobga doir test nazorat savollari

1. Real holatdagi suyuqlikning butun oqimi uchun Bernulli tenglamasini inertsiya 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.

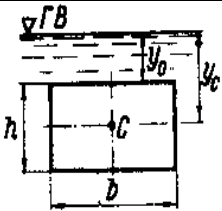
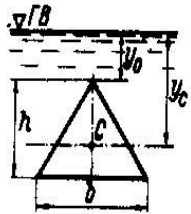
- a) Cuyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab tarqalmaydi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat yuqoriga tarqaladi;
- b) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab yuqoriga va pastga tarqaladi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab faqat pastga tarqaladi;
- c) Suyuqlikning sokin harakati deb shunday harakatga aytiladiki, bunda oqim bo'ylab tezlikning tebranishi paydo bo'ladi. Shovqinli harakatda esa bu tebranish tez tarqaladi;
- d) Sokin harakatda har qanday erkin sirtida paydo bo'lgan (yoki sun'iy tarzda paydo qilingan) qo'zg'alish oqim bo'ylab pastga tarqaladi. Shovqinli harakatda esa bu qo'zg'alish oqim bo'ylab goh yuqoriga, goh pastga tarqaladi.

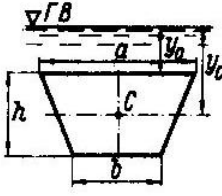
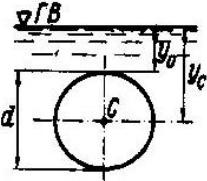
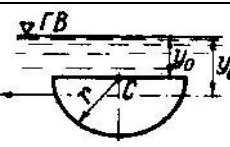
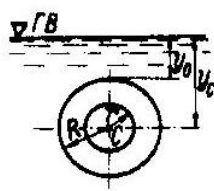
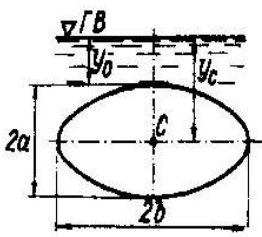
ILOVA

Grek alfaviti

α - alfa	θ - teta	ρ - ro	Γ - gamma
β - beta	\aleph - kappa	σ - sigma	Δ - delta
γ - gamma	λ - lambda	τ - tau	Θ - teta
δ - delta	μ - myu (mi)	φ - fi	Λ - lambda
ε - epsilon	θ - 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 Inertiya momenti (shaklning S og'irlik markazidan o'tuvchi gorizontaal 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

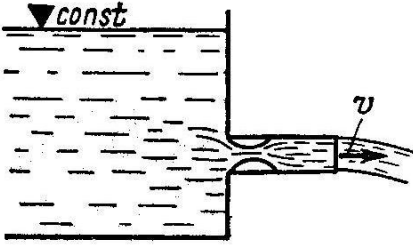
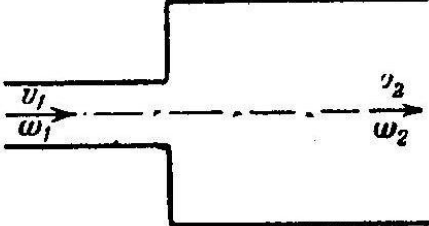

II jadval

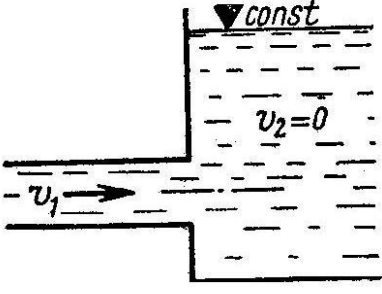
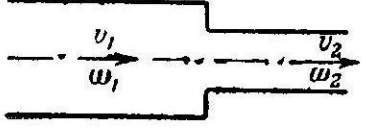
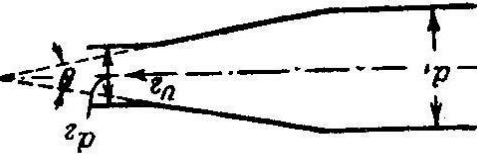
g'adir-budirlik koeffitsienti (n) ning qiymati

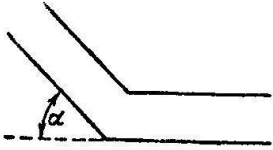
Daraja	Devorlar turi	n	$1/n$
I	O'ta silliq sirtlar; emal bilan qoplangan sirtlar	0,009	111
II	Yaxshio'rnatilgan, o'tao'tkirtaxta. Toza tsementdan yaxshi suvoq	0,010	100
III	Yaxshitsementlisuvoq (1/3 qumdan). Yaxshiyotqizilganyokiulanganyangisopol, cho'yanvatemir quvurlar. Qirralitaxta	0,011	90,9
IV	Yaxshio'rnatilgan 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 . Sezilarliifloslangantarnovlar. Yog'ochreykalarbo'yichabrezent	0,015	66,7
VIII	Yaxshitoshdevor, eski (harob)g'ishtterish; nisbatan qo'polbetonlangan. Judasilliq judayaxshiishlovberilgan qoyatosh	0,017	58,8
IX	Qalinmustaxkamgilqavatbilanqoplangankanallar,	0,018	55,6

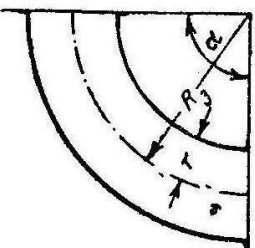
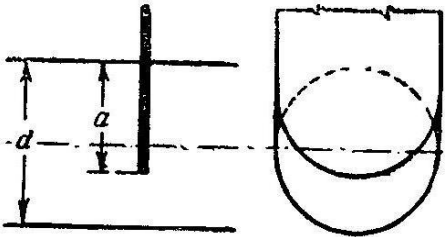
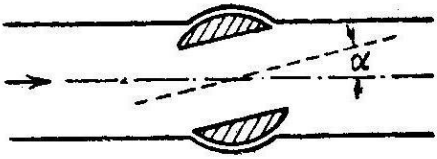
Daraja	Devorlar turi	<i>n</i>	1/ <i>n</i>
	zichsog'tuproqlikanallarvazichmaydashag'alli, gilbilanqoplangan.		
X	O'rtacha (qoniqarli)toshdevor. Toshyotqizilganyo'l. Qoyada juda toza yuvilgan kanallar. Gil qoplangan zich yerdagi, zich shag'alli, toshli kanallar (o'rtacha xolda)	0,020	50,0
XI	Zichloylikanallar. Birtekisbo'lmagan (uzlukli) gilqoplanganlarda, 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'y labo'pirilganvayuvilgan; kamishlaro'sgan quyuq ildizlar; yiriktoshlarvax.) bora-boradaryooqimisharoitiyomonlashadi (boshqapunktlarganisbatan)	0,040 va ko'p	25 va kam

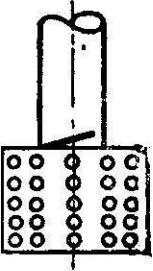
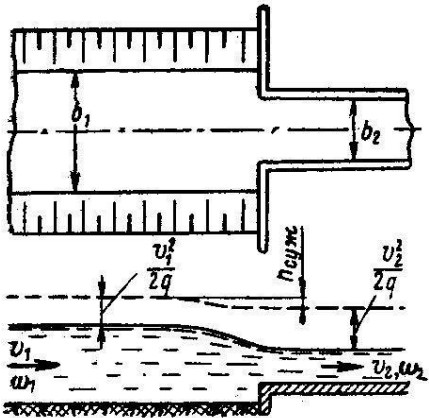
Mahalliy qarshiliklar

Qarshiliklar sxemasi	Yo‘qolishlar koeffitsienti										
<p>Quvurga kirish</p> $h_{max} = \zeta_{kup} \frac{v^2}{2g}$ 	<p>O‘tkir qirrali bo‘lganda</p> $\zeta_{kup} = 0,50$ <p>erkin kirish va aylanalı kirishda</p> $\zeta_{kup} = 0,20$ <p>o‘ta erkin kirishda</p> $\zeta_{kup} = 0,05$										
<p>Keskin kengayish</p> $h_{k.k} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \zeta_{k.k} \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_{k.k} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$										
<p>Konik diffuzor</p> $h_d = \zeta_d \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_d = k_d \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$ <p>bunda, k_d – keskin kengayishdagi diffuzordayo‘qolishdan yo‘qolishlarkismini ifodalovchi, o‘lchamsiz koeffitsient</p> <table border="1" data-bbox="869 1780 1380 1870"> <tr> <td>7,5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>0,14</td> <td>0,16</td> <td>0,27</td> <td>0,43</td> <td>0,81</td> </tr> </table>	7,5	10	15	20	30	0,14	0,16	0,27	0,43	0,81
7,5	10	15	20	30							
0,14	0,16	0,27	0,43	0,81							

Qarshiliklar sxemasi	Yo'qolishlar koeffitsienti																																			
<p>Quvurdan chiqish: katta o'lchamdagi idishga, daryo</p> $h_{\text{chik}} = \zeta_{\text{chik}} \frac{v_1^2}{2g}$ 	$\zeta_{\text{chik}} = 1,0$																																			
<p>Keskin torayish</p> $h_{\text{к.м}} = \zeta_{\text{к.м}} = \frac{v_2^2}{2g}$ 	$\zeta_{\text{к.м}} = f\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$ <table border="1" data-bbox="817 1008 1417 1283"> <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>$\zeta_{\text{к.м}}$</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	$\zeta_{\text{к.м}}$	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																														
$\zeta_{\text{к.м}}$	0,50	0,4 5	0,4 0	0,30	0,20	0,10																														
<p>Konik konfuzor</p> $h_{\text{кон}} = \zeta_{\text{кон}} \frac{v_2^2}{2g}$ 	<table border="1" data-bbox="817 1355 1417 1874"> <thead> <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> </thead> <tbody> <tr> <td>$d_1 / d_2 = 1,2$ uchun</td> <td>$\zeta_{\text{кон}}^*$</td> <td>0,0 4</td> <td>0,05</td> <td>0,07</td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td>$d_1 / d_2 = 2$ uchun</td> <td>$\zeta_{\text{кон}}$</td> <td>0,0 7</td> <td>0,09</td> <td>0,12</td> <td>0,14</td> </tr> <tr> <td>$d_1 / d_2 = 3$ uchun</td> <td>$\zeta_{\text{кон}}$</td> <td>0,08</td> <td>0,10</td> <td>0,1 4</td> <td>0,17</td> </tr> </tbody> </table>							d_1 / d_2	Burchak					θ	10	20	30	40	$d_1 / d_2 = 1,2$ uchun	$\zeta_{\text{кон}}^*$	0,0 4	0,05	0,07	0,08	$d_1 / d_2 = 2$ uchun	$\zeta_{\text{кон}}$	0,0 7	0,09	0,12	0,14	$d_1 / d_2 = 3$ uchun	$\zeta_{\text{кон}}$	0,08	0,10	0,1 4	0,17
d_1 / d_2	Burchak																																			
	θ	10	20	30	40																															
$d_1 / d_2 = 1,2$ uchun	$\zeta_{\text{кон}}^*$	0,0 4	0,05	0,07	0,08																															
$d_1 / d_2 = 2$ uchun	$\zeta_{\text{кон}}$	0,0 7	0,09	0,12	0,14																															
$d_1 / d_2 = 3$ uchun	$\zeta_{\text{кон}}$	0,08	0,10	0,1 4	0,17																															
<p>Quvur burilishi (tirsak)</p>																																				

Qarshiliklar sxemasi	Yoʻqolishlar koeffitsienti							
<p>a) aylanasiz tirsak</p> $h_{\text{kol}} = \zeta_{\text{kol}} \frac{v^2}{2g}$ 	α^0 burchak	30	40	50	60	70	80	90
	ζ_{kol}	0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	1,10
	<p>$d < 50\text{mm}$ li quvurlar bilan tajriba asosida olingan ζ_{kol} qiymati. Diametr oshganda ζ_{kol} qiymat kamayadi</p>							

Qarshiliklar sxemasi	Yo‘qolishlar koeffitsienti					
<p data-bbox="391 302 614 336">b) aylanali tirsak</p> $h_{a\ddot{u}l} = \zeta_{a\ddot{u}l} \frac{v^2}{2g}$ 	$\alpha = 90^\circ$ bo‘lganda					
	$r/R_{n.b}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,131	0,13 8	0,158	0,206	0,294
	$r/R_{n.b}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,440	0,66 1	0,997	1,408	1,978
	$\alpha \neq 90$ burchak bo‘lganda $\zeta_{a\ddot{u}l}$ qiymatini $\alpha/90$ nisbatga ko‘paytirish kerak					
Kran						
	a/d	To‘la ochilgan	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	0,12	0,26	0,81	0,26	
	a/d	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$		
	$\zeta_{a\ddot{u}l}$	5,25	17,0	978		
Kran						
	α^0	5	10	20	30	
	ζ_{sp}	0,05	0,29	1,56	5,47	
	α^0	40	50	60		
	ζ_{sp}	17,3	52,6	206		

Qarshiliklar sxemasi	Yo‘qolishlar koeffitsienti																				
Setkali qaytma klapan 	$\zeta_{cem} = 10$ Qaytma klapan bo‘lmagan xolda $\zeta_{cem} = 5 \div 6$																				
O‘tish uchastkasi bo‘lmaganda kanalning keskin torayishi 	<table border="1" data-bbox="817 689 1407 1214"> <tr> <td>ω_2 / ω_1</td> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,4</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>ζ_{cyuc}^*</td> <td>0,5</td> <td>0,4</td> <td>0,3</td> <td>0,2</td> <td>0,1</td> <td>0</td> </tr> </table>							ω_2 / ω_1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	ζ_{cyuc}^*	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
ω_2 / ω_1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0															
ζ_{cyuc}^*	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0															
$h_{cyuc} = \zeta_{cyuc} \frac{v_2^2}{2g}$	ω_2 – qarshilikdan keyin kanalning tirik kesim yuzasi; $\omega_1 - \omega_2$ – qarshilikkacha kanalning tirik kesim yuzasi;																				

IV jadval

Suv o‘tkazgich quvurlarda tavsiya etilgan solishtirma sarflar va tezliklar

Ko‘rsatkichlar	Diametr d, mm								
	50	75	100	125	150	200	250	300	350
Tavsiya etilgan solishtirma tezlik, m/sek	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 $м / сек$	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 қаршилик соҳаси учун K сарф характеристикалари қиймати

$d, мм$	$\omega, дм^2 \cdot 10$	1. М. КУВУР ОГИРЛИГИ		Ўртача ҳоладаги қувурлар			Қувурлар янги қўлга ва чўян		
		кг	Н (НЬЮТОН)	К, л/сек	Қ/1000	1000/Қ	К, л/сек	Қ/1000	1000/Қ
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 қаршилик соҳасидаги қувурлар ҳисоби учун θ_1 ва θ_2 тузатиш коэффициентлари қиймати

Қувурлар	Коэффицици θ_1 θ_2	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 дўлат 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 қаршилик соҳаси чегарасига эҳтирд келадиган тезликлар катталиклари

Қувурлар	Қувурлар диаметри														
	50	100	200	300	400	500	600	1000	1400						
Ўртача янги дўлат 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. **Agroskin I.I., Dmitreev G.T., Pikalov F.I.** *Gidravlika.*- M.-L.:Gosenergoizdat, 483 s., 1954.
2. **Agroskin I.I., Dmitriev G.T., Pikalov F.I.** *Gidravlika* - M.: Gosenergoizdat, 352s., 1964.
3. **Altshul A.D.** *Gidravlicheskie soprotivleniya.* -M.: Nedra, 1970.
4. **Altshul A.D., Kiselyov P.G.** *Gidravlika i aerodinamika* - L.: Stroyizdat, 1975.
5. **Andriyashev M.M.** *Gidravlicheskiy raschyot vodoprovodnykh setey* - M.: Stroyizdat, 1964.
6. **Baymanov K.I.** *Issledovanie ustoychivost i deformiruemosti rusel rek i kanalov// Gidrotexnicheskoe stroitelstvo.* -M., 2005, №3, s.38-41
7. **Baxmetov B.A.** *Mexanika turbulentnogo potoka* - M.-L.: Stroyizdat, 1939.
8. **Barыshnikov N.Ye.** *Ruslovyie protsessy.* Uchebnik.-Sankt-Peterburg. RGGMU, 2008. -439 s.;
9. **Barыshnikov N.Ye.** *Dinamika ruslovykh potokov.* Uchebnik.-Sankt-Peterburg. RGGMU, 2007. -349 s.;
10. **Bernar Le Meote.** *Vvedenie v gidravliku i teoriyu voln na vode.*- L.: Gidrometeoizdat, 1974.
11. **Bogomolov A.I., Mixaylov K.A.** *Gidravlika.* -M.: Stroyizdat, 1973.
12. **Bozorov D.R., Karimov R.M., Kazbekov J.S.** *Gidravlika asoslari.* T., RFAAK. 2001.
13. **Bozorov D.R., Karimov R.M., Kazbekov J.S., Xidirov S.Q.** *Ochiq o‘zanlar gidravlikasi.* T., RFAAK. 2001.
14. **Bozorov D.R. Karimov R.M., Kazbekov J.S., Xidirov S.Q.** *Gidravlika.* T.Bilim. 2003.

15. **Bozorov D.R., Obidov B.M., Xidirov S.Q.** Gidravlika (amaliy va tajriba mashg'ulotlari). T. TIMI. 2009.
16. **Bazarov D.R., Militeev A.N.** Matematicheskaya model dlya rascheta dvuxmernyx (v plane) deformatsiy rusel «Soobsheniya po prikladnoy matematike», Moskva, Iz-vo VS RAN, 1997g.
17. **Bazarov D.R., Militeev A.N.** Trexmernaya matematicheskaya model dvijeniya nanosov v allyuvialnyx ruslax. «Soobsheniya po prikladnoy matematike», Moskva, Iz-vo VS RAN, 1997g.,
18. **Bashta T.M., Rudnyov S.S., Nekrasov B.B. i dr.** Gidravlika, gidromashiny, gidroprivody. -M.: Mashinostroenie, 1970.
19. **Davydova M.A.** Lektsii po gidrodinamike. M.: Fizmatlit, 2011. 21 s.
20. **Yemtsev B.T.** Texnicheskaya gidromexanika. -M.: Stroyizdat, 1978.
21. **Zegjda A.P.** Gidravlicheskie poteri na trenie v kanalax i truboprovodax. -M. -L.: Stroyizdat, 1957.
22. **Idelchik I.Ye.** Gidravlicheskie soprotivleniya - M.-L.: Gosenergoizdat, 1954.
23. **Idelchik I.Ye.** Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam - M.: Mashinostroenie, 1975.
24. **Izbash M.V.** Osnovy gidravliki. -M.: Gosstroyizdat, 1952.
25. **Kiselyov P.G.** Gidravlika. -M.-L.: Gosenergoizdat, 1963.
26. **Kornfeld M.** Uprugost i prochnost jidkostey. -M.-L.: GITTL, 1951.
27. **Laboratornyy kurs gidravliki, nasosov i gidroperedach.** /Pod red. S.S.Rudnyova i L.G.Podvidza. -M.: Mashinostroenie, 1974.
28. **Loytsyanskiy L.G.** Mexanika jidkosti i gaza.- M.: Nauka, 1972.
29. **Lyatxer V.M., Prudovskiy A.M.** Gidravlichesкое modelirovanie.- M.Energoatomizdat, 1984.
30. **Materialy yubileynoy mejdunarodnoy konferentsii «Gidroaeromexanika i kosmicheskie issledovaniya», posvyashchennoy 100 letiyu so dnya rojdeniya akademika G.I.Petrova** /Pod red. Professora

- V.B.Baranova, M.: Izdatelstvo Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta, 2012. 300 s.
- 31.**Mixaylov A.V.** Vnutrennie vodnye puti.- M.: Stroyizdat, 1973.
- 32.**Moshnin L.F.** Metody tekhniko-ekonomicheskogo raschyota vodoprovodnykh setey - M.: Gosstroyizdat, 1950.
- 33.**Nekrasov B.B.** Gidravlika i yeyo primeneniye v letatelnykh apparatax.-M.: Mashinostroeniye, 1967.
- 34.**Nigmatulin R.I., Solovev A.A.** Osnovy gidromexaniki M.: Literatura, 2012, 400 s.
- 35.**Ogloblin A.P.** Osnovy gidromexaniki.-M.: Oborongiz, 1945.
- 36.**Pavlovskiy N.N.** Sobranie sochineniy, t. I.-M.-L.: Izdatelstvo AN SSSR, 1955.
- 37.**Patrashev A.N.** Gidromexanika.-M.: Voenno-morskoye izdatelstvo, 1953.
- 38.**Polbarinova-Kochina P.Ya.** Teoriya dvizheniya gruntovykh vod.-M., Nauka, 1977.
- 39.**Petkevich V.V.** Osnovy mekhaniki sploshnykh sred. M.: Editorial. URSS, 2001. 400 s.
- 40.**Pobedrya B.Ye., Georgievskiy D.V.** Osnovy mekhaniki sploshnoy sredy Kurs lektsii. M.: Fizmatlit, 2006. 272 s.
- 41.**Примеры гидравлических расчётов.** Pod red. A.I.Bogomolova.- M.: Transport, 1977.
- 42.**Prandtl L.** Gidroaerodinamika. Ijevsk. NIS: «Regulyarnaya i xaocheskaya dinamika», 2006. 575 s.
- 43.**Rasskazov L.N. i dr.** Gidrotexnicheskie sooruzheniya, chast 1, 2. M. Izdatelstvo Assosatsii stroitelnykh VUZov, 2008
- 44.**Rasskazov L.N. i dr.** Filtratsiya v gruntovykh plotinax v ploskoy i v prostranstvennoy postanovke//Gidrotexnicheskoye stroitelstvo, 1989, №11. -S. 26-32.

- 45.**Rauz X.** Mexanika jidkosti dlya injenerov gidrotexnikov - M.-L.: Gosenergoizdat, 1958.
- 46.**Rjanitsyn N.A.** Gidravlika struynyx techeniy - M.: Izdatelstvo Universiteta drujby narodov, 1985.
- 47.**Rossinskiy K.I. Deblolskiy V.K.** Rechnye nanosy.-M., Nauka, 1980, - 215s.
- 48.**Semyonov-Tyan-Shanskiy V.V.** Statika i dinamika korablya - L.: Sudostroenie, 1973.
- 49.**Simakov G.V.** Sifonnye vodosbrosy (posobie k kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu).-L.: iz-vo LPI im. M.I.Kalinina, 1974.
- 50.**Spravochnik po gidravlike.** /Pod red. V.A.Bolshakova. Kiev: Vysshaya shkola, 1977.
- 51.**Spravochnik po gidravlicheskim raschyotam.** /Pod red. P.G.Kiseleva.- M.: Energiya, 1972.
- 52.**Trusdell K.** Ocherki po istorii mexaniki. M.: Ijevsk, IKI, 2002, 316 s.
- 53.**Uginchus A.A., Chugaeva Ye.A.** Gidravlika. -L.: Stroyizdat, 1971.
- 54.**Chugaev R.R.** Gidravlika -L.: Energoatomizdat, 1982.
- 55.**Chernyak V.G., Suetin P.Ye.** Mexanika sploshnykh sred. M.: Fizmatlit, 2006. 352 s.
- 56.**Shamov G.I.** Rechnye nanosy. -L.,Gidrometeoizdat, 1959, 378s.
- 57.**Shevelyov F.A.** Tablitsy dlya gidravlicheskogo raschyota stalnykh, chugunnykh, asbestotsementnykh i plastmassovykh vodoprovodnykh trub.- M.: Stroyizdat, 1970.
- 58.**Shlixting G.** Vozniknovenie turbulentnosti - M.: Izdatelstvo inostr. lit., 1962. -204 str.
- 59.**Shlixting G.** Teoriya pogrannichnogo sloya - M.: Izdatelstvo inostr. lit., 1956.
- 60.**Shterenlixt D.V.** Gidravlika. I, II, III, IV t. -M.: Energoatomizdat, 1991.

61. **Shterenlixt D.V.** Ocherki istorii gidravliki, vodnykh i stroitelnykh iskusstv. I, II, III, IV, V, VI t. -M.: Geos, 1999-2006.
62. **Sharp Dj.** Gidravlichesкое modelirovanie.- M, 1984.

MUNDARIJA

So‘zboshi	4
Kirish.Fanning predmeti. Unda o‘rganiladigan asosiy ob’ekt	8
Fanning rivojlanish tarixi haqida qisqacha ma’lumot	11
Gidravlika fanining Markaziy Osiyo va O‘zbekistonda rivojlanish tarixi	13
Gidravlika fanini o‘rganishga zamonaviy qarashlar	21
Gidravlika fanining Markaziy Osiyo va O‘zbekistonda rivojlanish tarixi mavzusiga doir test-nazorat savollari	27
I bob. O‘rganiladigan ob’ektning asosiy xarakteristikasi	
1.1. Suyuqlik, uning asosiy fizik xossalari va xususiy holatlari.	
Yopishqoqlik. Nyuton gipotezasi	31
Yopishqoqlikni aniqlashda qo‘llaniladigan asosiy viskozimetrlar	39
1.2. Real va ideal suyuqliklar	47
1.3. Molekulyar bosim	48
1.4. Suyuqlikning hususiy holatlari	51
1.5. Suyuqlikning kapillyarligi	56
I bobga doir test-nazorat savollari	58
II bob. Hidrostatika	
2.1. Hidrostatik bosim va uning asosiy hossalari	65
2.2. Ideal suyuqlikning nisbiy tinch holati uchun differentsial tenglamasi	69
2.3. Ideal suyuqlikning tinch holati uchun differentsial tenglamani integrallash	72
2.4. Teng bosimlar tekisligi	76
2.5. Og‘irlik kuchi ta’siri ostidagi suyuqlikka ta’sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	77

2.6.	Pezometrik balandlik	80
2.7.	Vakuum	81
2.8	Paskal qonuni	82
2.9.	Tutash idishlar qonuni	83
2.10.	Suyuqlikning potentsial energiyasi. Potentsial napor	84
2.11.	Bosim o'lash asboblari	85
2.12.	Aylanayotgan idishdagi suyuqlik muvozanati (suyuqlikning nisbiy tinch holati)	88
2.13.	Tekis sirtga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi. Gidrostatik paradoks	91
2.14	Trapetsiya shakldagi ko'rinishga ega tekis sirlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	96
2.15	To'g'ri to'rtburchak, uchburchak, doira va yarim doira shakldagi ko'rinishga ega tekis sirlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	100
2.16.	To'rtburchak ko'rinishdagi tekis shakllarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchini aniqlashning grafoanalitik usuli	105
2.17.	Trapetsiya og'irlik markazini aniqlash usullari	107
2.18.	Tekis sirt shaklidagi vertikal to'siqni bir xil gidrostatik bosim ta'sir etadigan bo'laklarga ajratish	108
2.19.	Egri sirlarga ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi. Bosim tanasi va uni qurish qoidalari	110
2.20.	Aylana shakldagi quvur ichidan ta'sir etuvchi gidrostatik bosim kuchi	113
2.21.	Eng sodda gidravlik mashinalar	114

2.22.	Arximed qonuni. Suzib yuruvchi jism muvozanati	116
	Jismning suzuvchanligi	118
	Metatsentr va metatsentrik radius	120
	Suzuvchi jismning suvda botmay turishining statik shartlari	124
	II bobga doir test-nazorat savollari	127
IIIbob. Texnik gidrodinamika asoslari		
3.1.	Gidrodinamik va gidromexanik bosimlar. Texnik gidrodinamika masalalarining umumiy qo‘yilishi	134
3.2.	Suyuqlik harakatini kuzatishning asosiy analitik usullari	138
3.3.	Ideal holatdagi suyuqliklar harakatining differentsial tenglamasi (Eyler tenglamasi)	141
3.4.	Suyuqlik harakatining uch asosiy ko‘rinishi. Burama (vixrli) va noburama (vixrsiz) harakatlar	147
3.5.	Tezlik potentsiali. Suyuqlikning potentsial harakati	151
3.6.	Eyler tenglamasining potentsialga ega bo‘lgan hajmiy kuchlarning vixr (burama)lari komponentlari funktsiyasi uchun kurinishi – Eyler-Lyamb-Gromeko tenglamalari	155
3.7.	Suyuqlikning barqaror va beqaror harakatlari	158
3.8.	Harakat chizig‘i va elementar oqimchalar. Suyuqlik oqimi	159
3.9.	Suyuqlik oqimining tekis, parallel chiziqli, sekin o‘zgaruvchan va tez o‘zgaruvchan harakatlari. Harakatdagi kesim, sarf va o‘rtacha tezlik. Tezlik epyurasi	161
3.10.	Suyuqlikning barqaror harakatida uzluksizlik tenglamasi	165
3.11.	Harakatlanayotgan suyuqlik uchun siqilmaslik tenglamasining differentsial shakli	169
3.12.	Tekis va notekis harakatlar, erkin oqimchalar, naporli va naporsiz harakatlar. Harakatdagi kesimning gidravlik elementlari	172

3.13.	Suyuqlik oqimining uch o'lchamli (fazoviy), ikki o'lchamli va bir o'lchamli harakatlari. Suyuqlik harakati turlarining tasnifi.	175
3.14.	Kinetik energiyaning gidravlik tenglamasi. Suyuqlikning ideal holatdagi barqaror harakatlanayotgan elementar oqimchalari uchun Bernulli tenglamasi	177
3.15.	Suyuqlikning ideal holatdagi barqaror harakatlanayotgan elementar oqimchalari uchun Bernulli tenglamasini Eyler tenglamalariga asosan yozilishi	179
3.16.	Eyler-Gromeko tenglamalari asosida barqaror harakatlanayotgan ideal suyuqlikning elementar oqimchalari uchun Bernulli tenglamasining yozilishi	182
3.17.	Bernulli tenglamasi hadlarining geometrik, gidravlik va energetik ma'nolari	186
3.18.	Barqaror harakatlanayotgan ideal holatdagi suyuqlikning elementar oqimchalari uchun Bernulli tenglamasining geometrik tahlili. Elementar oqimcha uchun to'liq napor	187
3.19.	Barqaror holatdagi elementar oqimchalar uchun Bernulli tenglamasining energetik tahlili	189
3.20.	Kinetik energiyaning gidravlik tenglamasi. Barqaror harakatlanayotgan real suyuqlikning elementar oqimchasi uchun Bernulli tenglamasi. Elementar oqimchanning yon sirtlari orqali mexanik energiya «diffuziyasi»	190
3.21.	Tekis va tekis o'zgaruvchan harakatlanayotgan suyuqlikning harakatdagi kesimi bo'ylab bosim taqsimlanishi (birinchi ko'maklashuvchi vaziyat)	193
3.22.	Ixtiyoriy shakldagi harakatdagi kesim orqali oqib o'tayotgan suyuqlik massasining kinetik energiyasi miqdoriga va harakatlar miqdori kattaligiga harakatdagi kesim bo'ylab tezlik	194

taqsimlanishi notekisligining ta'siri (ikkinchi ko'maklashuvchi vaziyat)

3.23.	To'liq oqim uchun to'liq napor	198
3.24.	Kinetik energiya tuzatish koeffitsienti (korrektivi – α) ning va harakatlar miqdori tuzatish koeffitsientlari (α_0) ning aniqlanish formulalari va tajribaviy qiymatlari	199
3.25.	Barqaror harakatlanayotgan real suyuqlik oqimi kinetik energiyasining gidravlik tenglamasi (Bernulli tenglamasi)	201
3.26.	Oqimning barqaror harakatida napor va pezometrik chiziqlarning ko'rinishlari haqida umumiy ko'rsatmalar. Bernulli tenglamasiga kiruvchi hadlar haqida qo'shimcha mulohazalar	206
3.27.	Barqaror harakatdagi oqim uchun harakatlar miqdorining gidravlik tenglamasi	208
3.28.	Suyuqlikning ikki xil tartibdagi harakati	211
3.29	Real suyuqlikning harakati – Nave-Stoks differentsial tenglamalari sistemasi	218
3.30	Real suyuqlikning turbulent tartibdagi harakati –Nave-Stoks differentsial tenglamalari sistemasi	223
	III bobga doir test-nazorat savollari	225
IV bob. Oqimning barqaror harakatida napor yo'qolishi. Oqimning turbulent harakatini hisoblash sxemasi		
4.1.	Napor yo'qolishi haqida umumiy tushunchalar	232
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	235
4.3.	Oqimning harakatiga ta'sir etuvchi omillar	241

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	247
4.5.	Tekis barqaror laminar tartibda harakatlanayotgan suyuqlik oqimining harakatdagi kesimi bo'ylab u tezlik taqsimlanishi	251
4.6.	Aylana tsilindrik quvurdagi Q sarfli oqim uchun Puazeyl formulasi. Barqaror tekis, laminar tartibda harakatlanayotgan suyuqlik uchun naporning uzunlik bo'yicha yo'qolishi	253
4.7.	Suyuqlikning laminar tartibdagi tekis barqaror harakatida Koriolis va Bussinesk koeffitsientini aniqlash formulalari va tajribaviy qiymatlari	255
II. Turbulent oqimni hisoblanish modeli. Suyuqlikning turbulent tartibdagi harakatida o'rtacha tezlikning taqsimlanishi		
4.8.	Turbulent harakatdagi oqimni o'rganishda foydalaniladigan asosiy tushunchalar	256
4.9.	Suyuqlik oqimining turbulentlik darajasi	265
4.10.	Magnus effekti	267
4.11.	O'rta oqimlardagi turbulent urinma kuchlanishlar	268
4.12.	Turbulent tartibda harakatlanayotgan o'rtalashtirilgan suyuqlik oqimi uchun harakat – Reynolds tenglamalari sistemasi	272
4.13.	Tekis barqaror harakatlanayotgan turbulent oqimning harakatdagi kesimidagi o'rtacha tezlikning taqsimlanishi. Laminar (yopishqoq) qatlam. Silliq va g'adir-budir quvurlar. Chegaraviy qatlam	276
4.14.	Quvurlarda napor ostida turbulent tartibda harakatlanayotgan oqimlar uchun tezlik epyurasi	286
4.15.	Tezlik taqsimlanishining logarifmik qonuniyati	287

4.16.	Quvurlarda napor ostida turbulent tartibda harakatlanayotgan oqimlar uchun mahalliy va maksimal tezliklar orasidagi bogʻliqlik	289
4.17.	Koriolis α va Bussinesk α_0 koeffitsientlarining oqimning turbulent tartibdagi harakati uchun kattaliklari	293
III. Cuyuqlik oqimining turbulent tartibdagi tekis barqaror harakatida napor yoʻqolishi		
4.18.	Darsi-Veysbax formulasi λ gidravlik ishqalanish (Darsi) koeffitsienti	295
4.19.	Napor yoʻqolishi masalasini umumlashtirish. Darsi – gidravlik ishqalanish koeffitsientining boshqa parametrlarga bogʻliqligi. Nikuradze tadqiqotlari	297
4.20.	Turli (poʻlat, choʻyan, shisha, plastik, gofra) materiallaridan tayyorlangan aylana va toʻgʻri toʻrtburchak shaklidagi naporli quvurlarda Darsi koeffitsienti (λ)ni aniqlashning amaliy usullari	302
4.21.	Gidravlik ishqalanish – Darsi koeffitsienti kattaligini toʻgʻri toʻrtburchak shaklidagi ochiq oʻzanlar uchun aniqlashga doir A.P.Zegjda tajribalari	311
4.22.	Quvur kesimi shaklining Darsi koeffitsienti kattaligiga taʼsiri	312
4.23.	Quvurlar ekspluatatsion sharoitlarining Darsi koeffitsienti kattaligiga taʼsiri	313
4.24.	Darsi koeffitsienti kattaligini kamaytirish boʻyicha mulohazalar	314
4.25.	Kvadrat qarshiliklar sohasi uchun oqimning turbulent tekis barqaror harakatda naporning uzunlik boʻyicha yoʻqolishi. Shezi formulasi. Sarf va tezlik modullari	316
4.26.	Shezi koeffitsienti (S)ni aniqlash uchun empirik formulalar	322

IV. Suyuqlikning turbulent tartibdagi tekis barqaror harakatida mahalliy

napor yo‘qolishlari

4.27.	Tranzit oqimining o‘zan devoridan ajralish xodisasi. Sirkulyatsion (suv aylanish) sohasi. Ajratish sirti. Mahaliy napor yo‘qolishining umumiy xarakteri	327
4.28.	Quvurlar tizimi (truboprovod)ning keskin kengayishi. Bord formulasi. Truboprovoddan oqimning chiqishi	330
4.29.	Quvurning bosqichma-bosqich kengayishi (diffuzor)	334
4.30	Truboprovodning torayishi.Suyuqlik oqimining truboprovodga kirishi	335
4.31	Boshqa holatlarda mahalliy napor yo‘qolishini aniqlash. Veysbax formulasi	340
	IV bobga doir test-nazorat savollari	358

V bob.

I. Suyuqlik oqimining naporli quvurlardagi barqaror harakati

5.1.	Dastlabki tushunchalar	365
5.2.	Napor yo‘qolishini aniqlashda foydalaniladigan ifodalar	366
5.3.	Napor yo‘qolishining yig‘indicini aniqlash. To‘liq qarshilik koeffitsienti. Uzun va qisqa quvurlar haqida tushuncha	370

A. Qisqa quvurlar tizimi

5.4.	O‘zgarmas diametrli oddiy qisqa quvurlar tizimi	374
5.5.	Qisqa quvurlardagi asosiy holatlar. Sifon, nasosning so‘ruvchi quvuri va dyuker	387
5.6.	Gorizontal va vertikal holatdagi suv chiqaruvchi quvurlar. Vakuumnig har xil ko‘rinishlari	384

B. Uzun quvurlar tizimida suyuqlik oqimining napor ostidagi barqaror harakati uchun quvurlar tizimining gidravlik hisobi

5.7.	Umumiy tushunchalar	392
5.8.	Gidravlik hisoblarni bajarishda quvurlarning ketma-ket va	396

parallel ulanishi

5.9.	Uchta rezervuarining gidravlik hisobi	398
5.10.	Sarfning bir maromda taqsimlanishi holatida napor yo‘qolishi	400
5.11.	Murakkab quvurlar tizimining gidravlik hisobi	402
	V bobga doir test-nazorat savollari	306

VI bob. Tirqish va naychalar orqali suyuqlikning oqishi

I. Ingichka devordagi tirqishlardan doimiy napor ostida suyuqlikning oqishi

6.1.	Oqimning kichik tirqishdan atmosferaga oqib chiqishi	409
6.2.	Oqimchalarning siqilish turlari. ε , ζ , φ va μ_0 koeffitsientlar kattaliklari (kichik tirqishdan atmosferaga chiqqan holda)	413
6.3.	Oqimchaning traektoriyasi	416
6.4.	Kichik tirqishlardan oqimchaning suv sathi ostiga chiqishi (tirqishning ko‘milganlik holati)	418
6.5.	Suyuqlikning idishdagi harakati. Kichik va katta tirqishlar haqida tushunchalar. Katta tirqishlarning gidravlik hisobiga doir amaliy ko‘rsatmalar	418

II. Suyuqlikning doimiy napor ta’sirida naycha orqali harakati

6.6.	Naychalarning shakllari. Umumiy ko‘rsatmalar	423
6.7.	Tashqi tsilindrsimon naycha (Venturi naychasi)	424
6.8.	Ichki tsilindrsimon naycha (Bord naychasi)	430
6.9.	Naychalarning boshqa shakllari	431

III. Suyuqlikning o‘zgaruvchan napor ostida tirqish va naychadan chiqishi

6.10.	Oqimchaning atmosferaga yoki doimiy sathga oqib chiqishi	433
6.11.	Idishdagi doimiy napor ta’sirida suyuqlik sathining o‘zgaruvchan suyuqlik sathiga oqib chiqishi	435

IV. Erkin oqimchalar

6.12. Erkin oqimchalar haqida umumiy ma'lumotlar	437
6.13. Ko'milgan erkin turbulent oqimcha	437
6.14. Ko'milmagan erkin turbulent oqimchalar	441
6.15. Yong'inni bartaraf etishda qo'llaniladigan yong'inni o'chiruvchi oqimchalar	444
VI bobga doir test-nazorat savollari	445

VII bob. Suyuqlik oqimining quvurlar sistemasidagi beqaror harakati

7.1. Dastlabki tushunchalar	449
-----------------------------	-----

I. Suyuqlikni siqilmas deb qarab, quvurlarning deformatsiyalanmaydigan holati uchun naporli beqaror harakat

7.2. Beqaror harakatlanayotgan elementar oqimchalar to'plami uchun Bernulli tenglamasi (suyuqlikning lokal inertsiya kuchlarini hisobga oluvchi Bernulli tenglamasi)	452
7.3. Lokal inertsiya kuchlari hisobga olingan holat uchun real holatdagi suyuqlikning butun oqimi uchun Bernulli tenglamasi	457
7.4. Inertsiya naporining energetik ma'nosi. Siqilmas suyuqlik oqimining absolyut qattiq devorli truboprovodlardagi beqaror harakati uchun Bernulli tenglamasining geometrik interpretsiyasi	461
7.5. Silindrik quvurlardagi oqimning harakatini hisoblash formulalari	465
7.6. Suyuqlikning tsilindrsimon quvurlardan atmosferaga oqib chiqishi	466

II. Suyuqlikning siqiluvchanligi va truboprovod (quvurlar sistemasi) qattiq devorlarining egiluvchanligi va deformatsiya-lanishini hisobga olgan holda beqaror naporli harakati

7.7. Gidravlik zarb	470
---------------------	-----

7.8.	Gidravlik zarb xodisasini tasvirlash	471
7.9.	Gidravlik zarb kattaligi va uning tarqalish tezligini hisoblash formulalari	475
7.10.	To‘g‘ri (boshlang‘ich) va qaytarilgan gidravlik zarblar. Quvurning qo‘zg‘almas ko‘ndalang kesimida gidravlik zarb ro‘y berganda gidromexanik bosimning tebranishi	480
7.11.	Kranning bosqichma-bosqich yopilish holati. To‘liq va chala gidravlik zarblar	483
	VII bobga doir test-nazorat savollari	488
	Ilova	491
	Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yhati	503