

X BOB. GIDRAVLIKANING ALOHIDA MASALALARI (MAXSUS KURS) SUYUQLIKNING BEQAROR HARAKATI

Suyuqliklar harakat qilayotgan vaqtida uning tezligi va bosimi, odatda, vaqtga bog'liq bo'lib, bunday harakatni beqaror harakat deb atagan edik. Xususiyl holda vaqt o'tishi bilan harakat barqarorlashib tezlik va bosim vaqtga bog'liq bo'lmay qoladi. Yuqorida ko'rib o'tilgan suyuqlikning quvurlardagi harakatlari va teshiklardan oqishiga ko'rilgan misollar barqaror harakatlarning asosiy masalalari qatoriga kiradi. Lekin har qanday harakat holatini o'zgarishi beqaror harakatni vujudga keltiradi. Bir harakat holatidan ikkinchisiga o'tish asta-sekin yoki keskin o'zgarish bilan sodir bo'lishi mumkin. Masalan, biror idishdagi suyuqlik teshik orqali oqqanda vaqt davomida bosimning o'zgarib borishi natijasida tezlik va sarfning ham o'zgarishi harakat holatining asta-sekin o'zgarib borishiga misol bo'lsa, quvurlarda jo'mraklarni yoki o'zanlarda to'siqlarning keskin ochib-yopilishi vaqtidagi o'zgarishi harakat holatining keskin o'zgarishiga misol bo'ladi. Bunday harakat vaqtida inertsiya kuchlari asta-sekin yoki keskin o'zgarib boradi. Barqaror harakat vaqtida esa inertsiya kuchining o'zgarishi sezilarsiz bo'lib, harakat holatiga deyarli ta'sir qilmaydi. Shuning uchun barqaror harakat bilan beqaror harakatni nazariy tekshirish birinchi holda inertsiya kuchining o'zgarishi hisobga olinmasligi ikkinchi holda bu o'zgarish hisobga olinishi bilan farqlanadi.

Ideal va real suyuqliklar barqaror harakatining umumiy tenglamalari (3.25) va (3.28) ko'rinishda yoziladi. Turbulent harakat uchun esa (3.28) tenglama umumlashtirib hosil bo'lgan tenglamani Reynolds tenglamasi deyiladi.

Barqaror harakat uchun uzilmaslik tenglamasi bo'yicha oqimchani ixtiyoriy ikki kesimidagi sarflari o'zaro teng ekanligi ko'rsatilgan edi. Barqaror harakat uchun esa bu qonun vaqtning biror aniq qiymatida to'g'ri bo'lib, vaqt o'tishi bilan tezlik o'zgarganidek, sarf ham o'zgarib boradi. Shuningdek, vaqt davomida oqim chizig'i ham, elementar oqimcha ham o'zgarib boradi. Bu holda 10.1-rasmda tasvirlangan sxema elementar oqimchani biror aniq vaqtdagi holatiga to'g'ri keladi deb hisoblaymiz. Agar 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi masofa cheksiz kichrayib borib, dl uzunlikni qabul qilsa, u holda (3.12) tenglamani quyidagicha yoza olamiz.

$$q_1 - q_2 = 0 \text{ yoki } dq = 0 \quad (10.1)$$

Bu tenglamada chap tomondagi ifoda sarfdan olingan to'liq diferentsial bo'lib, q vaqt va yo'l bo'yicha o'zgarib borgan uchun, matematikada quyidagicha ifodalanadi.

$$\frac{\partial q}{\partial t} dt + \frac{\partial q}{\partial l} dl = 0. \quad (10.2)$$

Hosil bo'lgan tenglamaning ikki tomoni dt ga bo'lamiz va tezlikning ta'rifidan $u = \frac{dl}{dt}$ ekanligini hisobga olib, ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial l} = 0. \quad (10.3)$$

Bu hosil qilingan tenglama beqaror harakat elementlar oqimchasi uchun uzilmaslik tenglamasidir. Barqaror harakatdagi kabi beqaror harakat uchun ham oqimning uzulmaslik tenglamasini yozish mumkin:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial Q}{\partial l} = 0. \quad (10.4)$$

Beqaror harakatni tekshirish juda murakkab bo'lib, biz ikki soddalashtirilgan xususiy hol ustida to'xtalib o'tamiz.

1) deformatsiyalanmaydigan quvurdagi siqilmaydigan suyuqlikning harakati. Bu holda harakat holati asta-sekin o'zgarib borishi hisobiga olinadi, lekin quvur deformatsiyasidan hosil bo'ladigan kuchlar bo'lmaydi.

2) gidravlik zarba masalasi bo'lib, bunda quvur deformatsiyalanadi, lekin soddalashtirish harakat holatining keskin o'zgarishi va quvur kesimining o'zgarishligi bilan ifodalanadi. Beqaror harakatining umumiy masalalari yechish shu turdagi harakatlarga bag'ishlangan maxsus kurslarda ko'rilib, ko'p hollarda (3.25), (3.28) yoki Reynolds tenglamalar sistemalarini yechish bilan bog'liq.

10.1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsiya bosimi hisobga olingan beqaror harakati

Beqaror harakatni tekshirish uchun avval bu harakatga Bernulli tenglamasini chiqaramiz. Buning uchun kinetik energiyaning o'zgarishi qonunidan foydalanamiz. Beqaror harakatda tezlik va bosim yo'l bo'yicha ham, vaqt bo'yicha ham o'zgarгани uchun (3.39) tenglamadagi kinetik energiyaning dt vaqtida o'zgarishi quyidagicha yoziladi:

$$d\left(\frac{mu^2}{2}\right) = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl \quad (10.5)$$

Barqaror harakatda elementlar oqimchani ifodalovchi 9.1-rasmdagi sxema beqaror harakat uchun elementlar oqimchani biror aniq vaqtdagi holatni ifodalasin. Bu rasmdagi 1-1 va 2-2 kesimlar orasida masofani cheksiz kichraytirib borib, dl ga intiltirsak, (3.39) tenglama yuqoridagi oxirgi munosabatni hisobga olgan holda quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{mu^2}{2}\right)dl = \sum Pdl \quad (10.6)$$

Siqilmaydigan suyuqlik uchun massa o'zgarmas bo'lgani sababli oxirgi tenglik ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$m\left[\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{u^2}{2}\right)dt + \frac{\partial}{\partial l}\left(\frac{u^2}{2}\right)dl\right] = \sum Pdl \quad (10.7)$$

tenglamaning ikki tomonini dt ga bo'lamiz va $\frac{\partial l}{\partial t} = u$ ekanligini nazoratga olsak

$$mu \frac{\partial u}{\partial t} + mu \frac{\partial u}{\partial l} u = \sum P u$$

yoki

$$m \frac{\partial u}{\partial t} + mu \frac{\partial u}{\partial l} = \sum P \quad (10.8)$$

bo'ladi. 3.41 tenglamaga asosan

$$m = \rho q dt \quad (10.9)$$

(3.41) ga asosan 1-1 va 2-2 kesimlarga ta'sir qiluvchi bosim kuchlari bajargan ishlarning yig'indisi

$$A_1 - A_2 = (p_1 - p_2)gd$$

bo'ladi yoki 1-1 va 2-2 kesimlar orasidagi masofa cheksiz kichik ekanligini nazoratga olsak va

$$p_1 - p_2 = -dp = -\frac{dp}{dl} dl$$

desak, u holda

$$A_1 - A_2 = -\frac{dp}{dl} q dl dt \quad (10.10)$$

suyuqlikning 1-1 kesimdan 2-2 kesimga o'tishida og'irlik kuchining bajargan ishi

$$A_3 = Q(z_1 - z_2) = \gamma q dt (z_1 - z_2) \quad (10.11)$$

yoki

$$A_3 = -\gamma q dt dz = -\gamma \frac{dz}{dl} l dt$$

ko'rinishda ifodalanadi.

Endi (10.9), (10.10) va (10.11) munosabatlarni hisobga olgan holda (10.7) tenglamani quyidagicha yoza olamiz:

$$\rho q dt \left[\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{u^2}{2} \right) dt + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{u^2}{2} \right) dl \right] = -\frac{\partial p}{\partial l} q dl dt - \gamma \frac{dz}{dl} q dl dt$$

Bu tenglama (10.8) dagi ko'rinishga keltirilsa,

$$\rho q dt \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial l} \right) = -\frac{\partial p}{\partial l} q dt - \gamma \frac{dz}{dl} q dt$$

bo'ladi. Oxirgi tenglamaning ikki tomoni $\gamma q dt$ ga bo'lib, quyidagi ko'rinishda ifodalaymiz:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial l} = -\frac{1}{\gamma} \frac{dp}{dl} - \frac{dz}{dl}$$

Ba'zi o'zgarishlardan so'ng esa beqaror harakat uchun Bernulli tenglamasini differentsial ko'rinishda olamiz:

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{u^2}{2g} \right) + \frac{1}{\gamma} \frac{dp}{dl} + \frac{dz}{dl} = 0 \quad (10.12)$$

Bu tenglamani oralaridagi masofa chekli l ga teng bo'lgan ikki kesim uchun integrallasak

$$\int_{u_1}^{u_2} \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} dl + \int_{u_1}^{u_2} d \left(\frac{u^2}{2g} \right) + \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{\gamma} + \int_{z_1}^{z_2} dz = 0$$

va hosil bo'lgan tenglamani chekli oraliqdagi kesimlar uchun yozsak, u holda beqaror harakat uchun Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{1}{g} \int_{u_1}^{u_2} \frac{\partial u}{\partial t} dl$$

Bu tenglamaning o'ng tomonidagi integral inertiya bosimi deb ataluvchi miqdordir:

$$h_m = \frac{j}{g},$$

bu yerda

$$j = \frac{1}{l} \int_{u_1}^{u_2} \frac{\partial u}{\partial t} dl$$

u_1 va u_2 ni $\frac{\partial u}{\partial t}$ ning birinchi va ikkinchi kesimlardagi qiymatlari bilan ifodalasak,

Bernulli tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_m \quad (10.14)$$

Bernulli tenglamasini oqim uchun yozsak, u holda tezlikning qiymatlarini uning o'rtacha qiymatlari bilan almashtirib yozamiz

$$\frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_m \quad (10.15)$$

Beqaror harakatning Bernulli tenglamasini real suyuqliklar uchun ushbu ko'rinishda yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{t-2} + h_m \quad (10.16)$$

Shuni nazarda tutish kerakki, h_m ni birinchi va ikkinchi kesimlardagi inertsia kuchlari bajargan solishtirma ishlarning farqini ko'rsatadi.

Agar olingan tenglamalarni quvurlar sistemasiga qo'llasak, u holda ikki kesim orasidagi ishqalanish va mahalliy qarshiliklarga bo'lgan sarf va inertsia qarshiligiga bo'lgan sarfni hisoblab yozamiz:

$$\frac{\alpha_1 g_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 g_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \sum h + \sum h_m \quad (10.17)$$

Inertsia bosimi quvurlarda kranlar va turli asta-sekinlik bilan ochib-yopiladigan hollarda shu ochib-yopilishning suyuqlik harakatiga ko'rsatgan qarshiliklari sifatida namoyon bo'ladi. Gidravlik mashinalar, gidrouzatkich va gidrouzatalarda esa porshenlar harakati vaqtida hosil bo'ladigan o'zgarishlar ham inertsia bosimi yordamida hisobga olinadi.

Misol uchun ikki idish biror quvur orqali tutashtirilgan bo'lib, quvurga tutashtirilgan porshen harakat qilayotgan bo'lsin. Bu holda birinchi idishdagi suyuqlik sathi (0-0) kesim bilan quvurdagi biror I-I kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi quyidagicha bo'ladi.

$$\frac{p_o}{\gamma} + z_o = \frac{g^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + \lambda \frac{l}{D} \frac{g^2}{2g} + \frac{j}{g} l \quad (10.18)$$

Quvurdagi 2-2 kesim bilan ikkinchi idishdagi suyuqlik sathi 3-3 kesim uchun yozilgan Bernulli tenglamasi esa quyidagicha yoziladi:

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + z_2 + \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} + \frac{j}{g} \quad (10.19)$$

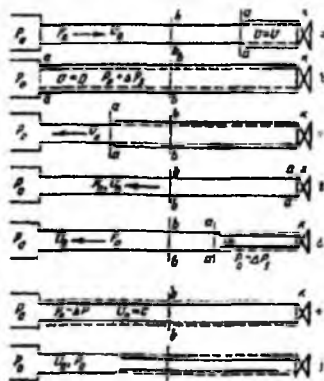
Bu yerda inertsiya bosimi porsheningning musbat yoki manfiy tezlikni oshiruvchi yoki susaytiruvchi yo'nalishda harakat qilishiga qarab musbat yoki manfiy ishora bilan olinadi.

10.2. Gidravlik zarba hodisasi

Quvurlarda gidravlik zarba hodisasi deformatsiyalanuvchi quvurlardagi kam siqiluvchi suyuqlikning tezligi yoki bosimi keskin o'zgarganda hosil bo'ladigan tebranma harakatdan iboratdir. Bu hodisa tez sodir bo'lib, bosimning keskin ortishi va kamayishi bilan xarakterlanadi. Bosimning bunday o'zgarishi suyuqlikning va quvur devorlarining deformatsiyalanishi bilan bog'liqdir.

Gidravlik zarba ko'p hollarda jo'mrak yoki oqimning boshqaruvchi biror boshqa qurilmaning tez ochilishi yoki yopilishi natijasida sodir bo'ladi. Unga boshqa hodisalar ham sabab bo'lishi mumkin. Quvurlardagi gidravlik zarbani birinchi marta prof. N.E. Jukovskiy nazariy asoslagan va tajribada tekshirib ko'rgan va uning "O gidravlicheskom udare" nomli asarida (1899 y) e'lon qilingan. Suyuqlik V_0 tezlik va p_0 bosim bilan harakat qilayotgan quvurning oxiridagi kran jo'mrak "J" bir onda yopilsin deylik (10.1-rasm, a). U holda kranga (yopilgandan so'ng) birinchi yetib kelgan suyuqlik zarrachalarning tezligi so'nib ularning kinetik energiyalari quvur devorlarining va suyuqlikni deformatsiyalash ishiga aylanadi. Bu yerda gidravlikaning avval ko'rilgan bo'limlaridagi kabi suyuqlik siqilmaydi deb hisoblamay, uning siqilishi oz miqdorda bo'lsa ham hisobga olishga to'g'ri keladi, chunki shu siqilish katta va chekli miqdordagi zarba bosimi Δp_3 ni vujudga keltiradi. Shunday qilib, jo'mrak oldida hosil bo'lgan Δp_3 qo'shimcha bosimga mos ravishda quvur devorlari cho'zilib, suyuqlik siqiladi. Jo'mrak oldida to'xtatilgan suyuqlik zarrachalariga qo'shni bo'lgan zarrachalar ham yetib keladi va ularning ham tezliklari so'nadi. Natijada bosim ochish chegarasi ($a-a$ kesim) jo'mrakdan ta'minlovchi idish tomonga, zarba to'liqining tezligi deb ataluvchi a tezlik bilan siljib boradi. Bosimi Δp_3 ga o'zgargan sohaning o'zi esa zarba to'liqini deb ataladi. Bu to'liqin idishga yetib borganda esa, suyuqlik butun quvur bo'yicha to'xtagan va siqilgan bo'lib, quvur devorlari esa butunlay cho'zilgan bo'ladi. Bosimning zarbali ortishi Δp_3 esa quvur bo'yicha butunlay tarqalgan bo'ladi. (10.1-rasm, b). Lekin

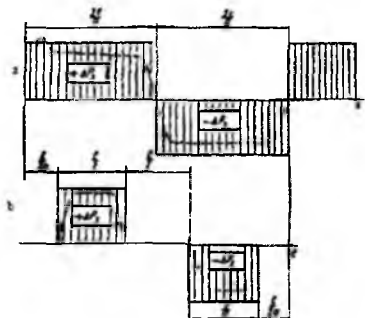
quvurdagi suyuqlik teng vaznli holatda bo‘lmaydi. Bosimlar farqi Δp_3 ta‘sirida suyuqlik quvurdan idishga oqa boshlaydi. Bu oqim idishning bevosita oldida turgan zarrachalardan boshlanib, uning chegarasi ($a-a$ kesim, teskari yo‘nalishda) kran tomonga a tezlik bilan harakat qiladi va ketida tiklangan p_0 bosimli V_0 tezlikka ega suyuqlik oqimini qoldiradi (10.1-rasm, v). Suyuqlik va quvur devorlari elastik deb qaralib, p_0 bosimi tiklanishi bilan o‘z holiga qaytadi. Deformatsiya ishi qayta kinetik energiyaga aylanib, suyuqlik yana avvalgi V_0 tezligiga ega bo‘ladi va teskari yo‘nalishda oqa boshlaydi. Suyuqlik ustuni ana shu tezlik bilan oqishda davom etib, jo‘mrakdan uzilishga intiladi (10.1-rasm, g). Natijada krandan idishga a tezlik bilan harakat qiluvchi manfiy zarba to‘lqini vujudga keladi va u bosimni p_0 ga kamaytirib, quvur devorini toraytirib, suyuqlikni kengaytiradi (10.1-rasm, d). Suyuqlikning kinetik energiyasi esa yana deformatsiya ishiga aylanadi, lekin bu ish endi manfiy bo‘ladi. Bu harakat davom etib borib, manfiy zarba to‘lqini ham idishgacha yetib keladi (10.1-rasm, e). Musbat zarba to‘lqinidagi kabi bu holat ham teng vaznli bo‘lmaydi va natijada quvurda yana bosim tiklana boshlaydi, suyuqlik esa V_0 tezlikka erishadi (10.1- rasm, j). Idishdan qaytgan zarba to‘lqini jo‘mrakka yetib borishi bilan jo‘mrak yopilgandagiga o‘xshash hodisa yana vujudga keladi. Shundan so‘ng butun sikl takrorlanadi.



10.1 rasm. Gidravlik zarba hodisasini tushuntirishga doir chizma

N. E. Jukovskiy tajribalarida bunday siklning 12 marta takrorlanishi qayd qilingan, lekin har bir navbatdagi siklda, ishqalanish kuchi va energiyaning idishdagi suyuqlikka o‘tishi natijasida Δp_3 kamayib borgan. Gidravlik zarbaning vaqt davomida o‘tishi 9.2-rasmda diagramma ko‘rinishida tasvirlangan (10.2-rasmdagi a) diagrammada

jo'mrak bir onda yopilgan deb qarab, jo'mrakning oldidagi k nuqtadagi bosimning nazariyadagi o'zgarishi Δp_3 tutash chiziq bilan tasvirlangan. Quvurning o'rtasidagi v nuqtaga zarba bosimi $\frac{l}{2a}$ vaqtga kechikib keladi va to'lqinning bu nuqtadan idishga borib qaytib kelgunicha, ya'ni $\frac{l}{2a}$ vaqt saqlanib turadi. So'ng v nuqtada bosim p_0 ga tiklanadi (ya'ni $\Delta p_3 = 0$) va shu holda teskari to'lqin yetib kelguncha, $\frac{l}{a}$ vaqt saqlanadi (10.2-rasm, b).



10.2-rasm. Gidravlik zarbada bosimning vaqt davomida o'zgarishi

Bu haqiqiy bosim grafigi emas. Bundan tashqari, tebranish so'nib boradi, ya'ni uning amplitudasi energiyaning sarf bo'lish hisobiga kamayib boradi.

10.3. To'g'ri zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi

Gidravlik zarba vaqtida bo'ladigan o'zgarishlarni va zarba kuchini hisobga olish uchun zarba bosimi Δp_3 ning qiymatini aniqlash kerak. Buning uchun zarba bosimi ostida suyuqlikning siqilgan holi uchun harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teoremani qo'llaymiz. Shu maqsadda quvurdagi suyuqlikning elementar masofaga dt vaqtda siljishini ko'ramiz (10.3-rasm). Buning uchun biror vaqtda quvurdagi suyuqlikning jo'mrak oldidagi Δl bo'lagi zarba ta'sirida siqilgan bo'lsin. U holda suyuqlikka idish tomonidan $P_1 = p_0 \omega$ bosim kuchini, kran tomonidan esa $P_2 = (p_0 + \Delta p_3) \omega$ kuchi dt vaqt ta'sir qiladi. Suyuqlikning zarba yetib kelmagan qismining harakat miqdori $\rho \omega V_0 dx$ zarba ta'siri ostidagi qismining harakat miqdori

$\rho\omega Q dx$ bo'ladi. Shunday qilib, ko'rilayotgan holda harakat miqdoring o'zgarishi haqidagi teorema qo'llanganda muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$(p_0 + \Delta p_1)\omega dt - d_0\omega dt = \rho\omega g_0 dx \quad (10.20)$$

Bu tenglikdan

$$\Delta p_1\omega dt = \rho\omega g_0 dx$$

Yoki

$$\Delta p_1 = \rho g_0 \frac{dx}{dt} \quad (10.21)$$

Bu yerda zarba to'lqinining tarqalish tezligi.

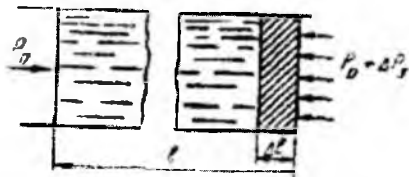
$$\alpha = \frac{dx}{dt} \quad (10.22)$$

dan iborat va oxirgi tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p_1 = \rho V_0 \alpha \quad (10.23)$$

Bu formula N. E. Jukovskiy formulasidir. Undan ko'rinadiki, gidravlik zarba bosimi suyuqlikning zichligi, tezligi va shu suyuqlikda to'lqin tarqalishi tezligiga proporsional bo'lib, ularning ko'paytmasiga teng. Agar suyuqlikda to'lqin tarqalish tezligini aniqlasak, tezlikni o'lchab (zichlik jadvallardan ma'lum), (10.23) formula yordamida zarba bosimini topa olamiz. Shuni aytish kerakki, α suyuqlikning va quvurning elastiklik xossalriga bog'liq. Bu bog'liqlikni aniqlash uchun quvurdagi suyuqlik kinetik energiyasining deformatsiyaga sarf bo'ladigan ishga aylanishini tekshiramiz. Radiusi R bo'lgan quvurdagi suyuqlikning kinetik energiyasi quyidagiga teng:

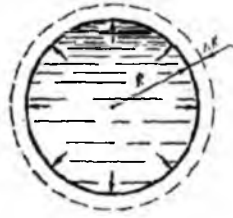
$$\frac{m g_0^2}{2} = \frac{1}{2} \pi R^2 l \rho g_0^2 \quad (10.24)$$



10.3 rasm. Gidravlik zarba uchun N.E. Jukovskiy formulasini chiqarishga doir chizma

Quvurni deformatsiyalashga ketgan ish A_1 kuchning cho'zilibshga ko'paytmasining yarmiga teng. Deformatsiya ishini zarba kuchining ΔR (10.4-rasm) yo'lga sarf bo'lgan ish sifatida topamiz:

$$A_1 = \frac{1}{2} \Delta p_3 2\pi R l \Delta R \quad (10.25)$$



10.4 rasm. Gidravlik zarba vaqtida quvur devorining choʻzilishi

Guk qonuniga asosan

$$\sigma = E \frac{\Delta R}{R} \quad (10.26)$$

Bu yerda σ - quvur devoridagi normal zoʻriqish, u quvurning qalinligi σ va zarba kuchi Δp_3 bilan quyidagicha bogʻlangan:

$$\sigma = \frac{\Delta p_3 R}{\delta} \quad (10.27)$$

Bu munosabatlardan foydalanib quvurni deformatsiyalash ishini quyidagicha yozamiz:

$$A_1 = \frac{\Delta p_3^2 \pi R^3 l}{\delta E} \quad (10.28)$$

Endi quvurdagi suyuqlikni l masofadagi (9.3-rasm) siqish ishi A_2 ni topamiz. Bunda

siqilgan suyuqlik sarfi ωl desak,

$$A_2 = \frac{1}{2} \omega \Delta l \Delta p_3 = \frac{\pi R^2}{2} \Delta l \Delta p_3 \quad (10.29)$$

Guk qonuniga oʻxshash, suyuqlikning chiziqli choʻzilishi zarba kuchi bilan quyidagicha bogʻlangan:

$$\Delta p_3 = K \frac{\Delta l}{l}$$

bu yerda K – suyuqlikning elastiklik moduli. U holda

$$A_2 = \frac{1}{2} \frac{\Delta p_3^2 \pi R^3 l}{K} \quad (10.30)$$

Kinetik energiya A_1 , va A_2 ishlarning yig'indisiga teng, ya'ni

$$\frac{1}{2} \pi R^2 \rho g_0^2 = \frac{\Delta p_1^2 \pi R^2 l}{\delta E} + \frac{\Delta p_2^2 \pi R^2 l}{2K} \quad (10.31)$$

Bu tenglamani Δp_3 ga nisbatan yechsak

$$\Delta p_3 = \rho g_0 \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}} \quad (10.32)$$

N. E. Jukovskiy formulasini umumiyroq ko'rinishda topdik.

(10.32) ni (10.23) bilan solishtirsak, suyuqlikda to'liq tarqalish tezligi uchun quyidagi formulani olamiz:

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{K} + \frac{2\rho R}{\delta E}}} \quad (10.33)$$

Bu miqdorning o'lchovi tezlik o'lchoviga tengdir. Uning fizik ma'nosini aniqlash uchun quvurni deformatsiyalanmaydigan (ya'ni $E = \infty$) deb qaraymiz. U holda ildiz ostidagi ikkinchi had nolga aylanadi va

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (10.34)$$

bo'lib qoladi. Oxirgi formula zichligi ρ va elastiklik moduli K bo'lgan bir jinsli suyuqlik uchun tovush tezligidan iboratdir. Shunday qilib, quvurlarda gidravlik zarba to'liqining tarqalish tezligi (10.33) formula yordamida hisoblanadi. Bu tezlik suv uchun 1435 m/s, benzin 1116 m/s, yog'lar uchun 1400 m/s deb taxminiy hisoblash mumkin. Albatta, quvurning materialiga qarab u ko'proq yoki kamroq bo'ladi.

10.4. Teskari gidravlik zarba haqida tushuncha

Agar jo'mrak to'liq yopilmasa va suyuqlikning tezligi butunlay so'nmasa hamda

u g_0 dan g ga kamaysa, bunda chala gidravlik zarba hosil bo'ladi. Bunday zarba uchun

N. E. Jukovskiy formulasi quyidagicha yoziladi:

$$\Delta p_3 = \rho(g_0 - g)\alpha \quad (10.35)$$

Bu formula jo‘mrakning bir onda (juda tez) yopilmagan holi uchun to‘g‘ri bo‘ladi. Agar jo‘mrakning yopilish vaqtini t_δ desak va gidravlik zarbaning jo‘mrakdan idishga borib, undan qaytib kelish vaqtini t_0 desak, u holda

$$t_\delta < t_0$$

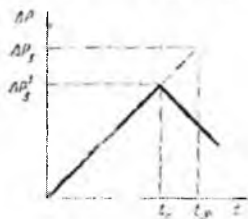
bo‘lganda kranning yopilishi oniy bo‘lgan deb qarash mumkin. Bunda t_0 gidravlik zarbaning fazasi deyiladi, zarbaning o‘zini esa to‘g‘ri gidravlik zarba deyiladi. $t_\delta > t_0$ bo‘lganda esa teskari gidravlik zarba deyiladi va zarba to‘lqini kran butunlay yopilib ulgurmasidan oldin idishdan qaytib jo‘mrakka yetib keladi. Tabiiyki bu holda bosimning ortishi Δp_3 to‘g‘ri zarba holidagi Δp_3 ga qaraganda kichik bo‘ladi.

Agar oqim tezligi jo‘mrak yopilishiga qarab kamayib boradi, bosim esa vaqt bo‘yicha chiziqli ortadi deb hisoblasak (9.5-rasm), u holda

$$\frac{\Delta p'_3}{\Delta p_3} = \frac{t_0}{t_\delta}$$

munosabat o‘rinli bo‘ladi. Bundan:

$$\Delta p'_3 = \Delta p_3 \frac{t_0}{t_\delta} = \rho g \alpha \frac{2l}{\alpha a_\delta} = \frac{2\rho V_0 l}{t_\delta} \quad (10.36)$$



10.5-rasm. To‘g‘ri va noto‘g‘ri zarbada bosimning ortishi

Shunday qilib, teskari gidravlik zarba bosimi $\Delta p'_3$ to‘g‘ri gidravlik zarba bosimi Δp_3 dan farqli ravishda quvurning uzunligiga bog‘liq, α tezlikka bog‘liq emas.

Tupiksimon quvurlarda zarba bosimi ikki baravar ortib ketadi. Bu hodisani 10.6-rasm yordamida tushuntiramiz. Boshlang‘ich bosimi p_0 bo‘lgan suyuqlikka to‘la quvur katta $p_1 = p_0 + 2\Delta p_3$ bosimli bo‘lgan quvurdan jo‘mrak yordamida ajratilgan bo‘lsin. Jo‘mrak ochilishi bilan quvurda bosim $\Delta p_3 = p_1 - p_0$ miqdorga keskin ortadi, quvurdagi

suyuqlikning tezligi esa noldan v_0 ga ortadi. Buning natijasida hosil bo'lgan zarba to'liqini α tezlik bilan quvurning ikkinchi uchi tomonga qarab harakat qiladi (10.6-rasm, a).

N. E. Jukovskiy formulasidan:

$$v_0 = \frac{\Delta p_T}{\rho \alpha}$$

Zarba to'liqini tupiksimon quvurning oxiriga kelganda butun quvur bo'yicha bosim Δp_T ga ortadi, tezlik esa quvur oxirigacha v_0 qiymatga ega bo'ladi. Suyuqlik bundan nariga

oqa olmagan uchun uning tezligi so'nib, kinetik energiyasi, yangi qo'shimcha zarba to'liqinining hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Yangi zarba to'liqinining bosimi ham, N. E. Jukovskiy formulasiga asosan $\Delta p_3 = \rho v_0 \alpha$ bo'lib, quvurdagi bosimning umumiy oshishi

$2\Delta p_T$ ga teng bo'ladi (10.6-rasm, b), suyuqlikning tezligi esa $v = 0$ bo'ladi.



10.6-rasm Noto'g'ri gidravlik zarbani tushuntirishga doir chizma

Quvurning ikkinchi uchida yana bir idish bo'lsa (bu kuch gidrosilindrlarida bo'ladi), u holda ikkinchi zarba to'liqini kichikroq bo'lib, bosimning umumiy ortishi $2\Delta p_3$ dan kichik bo'ladi.

Ikkinchi idish hajmi juda katta bo'lsa, ikkinchi zarba to'liqini deyarlik bo'lmaydi. Zarba bosimining ikki baravar ortish holi kuch gidrosilindrlarini yuqori bosimli suyuqlikka keskin tutashtirilgan hollarda sodir bo'ladi, bunga sabab gidrosilindrdagi suyuqlik miqdori (porshen silindr tubiga taqalgan bo'ladi) juda kam bo'lib, tupiksimon quvurga o'xshagan bo'ladi. (10.23) formula bir qancha taxminlardan foydalanib chiqarilgan, ya'ni suyuqlik va quvur deformatsiyasiga Guk qonuni o'rinli, ishqalanish kuchi va boshqa turlardagi energiyaning tarqalishi yo'q, quvur kesimida tezlik bir tekis tarqalgan deb qabul qilinadi. Tajribalar ko'rsatishicha, agar suyuqlikda havo pufakchalari aralash bo'lmasa va p_0 bosim juda katta bo'lmasa, yuqorida aytilgan taxminlarga qaramay N. E. Jukovskiy formulasi amaliy hisoblashlarga juda yaqin keladi. Boshlang'ich bosim katta bo'lganida Δp_3 ning (10.23) formula yordamida hisoblangan qiymatidan tajriba natijalari 10—20% dan ko'p ortiq bo'ladi. Bunga sabab katta bo'lgan suyuqlikning elastiklik moduli K , demak, a tezlik ortadi. Bundan ko'rinadiki, Guk qonunidan chetga chiqish, ya'ni deformatsiyaning chiziqiligi buzilishi sodir bo'ladi. Hozirgi vaqtda gidrosistemalarda tez ishlaydigan boshqarish uskunalari (elektromagnit jo'mraklar va h.) qo'llanishi sababli, ularning ishga tushish vaqti juda qisqa (taxminan 0,008—0,002 s) bo'lib, Δp_3 juda katta qiymatlar (bir nesha va hatto o'nlar mH/m²) ga erishadi. Bosimning bunday ortishi gidrosistemalar ayrim bo'laklarining ishdan chiqishiga sabab bo'ladi. Bundan tashqari, gidravlik zarbada bosim impulslari butun gidrosistema bo'yicha tarqalib, uning ayrim boshqaruv qurilmalari (bosim relesi, gidroqulflar va h.) ning to'satdan ishlay boshlashiga sabab bo'ladi. Bunday hollarda gidravlik zarbaga qarshi kurash usullaridan foydalanish kerak bo'ladi.

10.5. Gidravlik zarbani susaytirish usullari

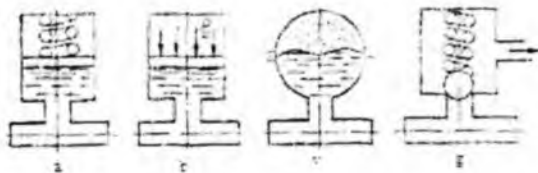
Gidravlik zarba ta'sirini susaitirish turli usullar bilan amalga oshiriladi.

Birinchi usul – jo'mraknng keskin ochilish yoki yopilish vaqti t ni uzaytirib, $t > \frac{2l}{\alpha}$ ga yetkazish yo'li bilan to'g'ri gidravlik zarbani yo'qotib, Δp_3 ni kamaytirish. Bu

ish, odatda, drosselli rele yordamida bajariladi. Odatda, jo'mrakning holati (ochiq yoki yopiqligi) o'zgartirilganda suyuqlik quvurga rele orqali o'tgani uchun uning sarfi (demak, tezligi) prujinali klapanlar yordamida asta-sekin o'zgarib, ma'lum vaqtdan keyin kerakli qiymatga yetadi. Tajribalarning ko'rsatishicha, quvurlarni zarbasiz tutashtirish bosimning o'zgarishi 22 MH/m^2 atrofida va $t \approx 0,1s$ bo'lganda ishonchli ta'minlanadi.

Ikkinchi usul quvurlarga gidravlik zarbani so'ndirgich (kompensator)lar o'rnatish. So'ndirgichlar quvurdagi suyuqlikka nisbatan yuqori siqiluvchanlik xususiyatiga ega bo'lgan elastik elementli idishlar bo'lib, turli konstruktiv tuzilishga ega (10.7-rasm). Eng ko'p tarqalgan so'ndirgichlar elastik elementi prujina (10.7-rasm, a) va gaz (10.7-rasm, b) bo'lgan porshenli, membranali (10.7-rasm, b) va klapanli (10.7-rasm, g) so'ndirgichlardir. So'ndirgichlar, odatda, zarba tug'diruvchi (jo'mrak) yoki zarbadan himoyalalanuvchi qism yoniga o'rnatiladi. Ular yordamida zarba bosimining kamayishi sundirgishga suyuqlik oqimi bilan birga kelgan kinetik energiyaning elastik elementlar tomonidan yutilishi hisobiga amalga oshadi. So'ndirgichning elastik elementi qancha ko'p deformatsiyalansa, yutilgan energiya ham shuncha ko'p bo'ladi. Shuning uchun elastik elementning elastiklik xarakteristikasi imkon bergan chegarada mumkin bo'lgan deformatsiyaning o'zgarishini minimal bo'lishi kerak. Bu esa gazli so'ndirgichlarda gaz bo'lmasligini shunday tanlab olishni taqozo qiladiki, zarba to'liqining yutilishida bosimning o'zgarishi minimal bo'lishi kerak. Amalda bunday so'ndirgichlarda gaz bo'lmasining hajmi quvurdagi suyuqlikning ikki sekundlik sarfiga teng qilib olinadi, boshlang'ich bosimi esa magistraldagi maksimal bosimdan ko'proq bo'lishi zarur.

Porshenli so'ndirgichlarning kamchiligi ularning inertligi bo'lib, bu porshenning massasi va ishqalanish kuchiga bog'liqligi va unga quvur bilan so'ndirgichni tutashtiruvchi kanaldagi suyuqlikning inertligi qo'shiladi. Bu kuchlar zarba to'liqining so'ndirgich porsheniga ta'siri natijasida garmonik tebranish vujudga kelishiga sabab bo'ladi va natijada so'ndirgich hamda quvurdagi bosim tebranishi qo'shilib, kanaldagi bosim zarba bosimidan oshib ketishi mumkin.



10.8 - rasm. Turli so'ndirgichlar

Natijada so'ndirgich zarba energiyasini yutish o'rniga kuchaytirishi mumkin. Inertlikni kamaytirish maqsadida so'ndirgichni gaz va suyuqlikni ajratuvchi elastik membrana bilan ta'minlanadi (10.8-rasm, v). Yuqorida aytilganidek, so'ndirgichda tebranma harakatning bo'lish va zarba to'lqinining kuchayishiga quvur bilan so'ndirgichni tutashtiruvchi kanalning uzunligi va diametrining ta'siri bor ekanligi tajribalarda tekshirilgan. Shuning uchun kanalning uzunligini va diametrini to'lqinlarga kamroq ta'sir qiladigan qilib tanlab olinadi. Zarba to'lqinlarini klapanli so'ndirgichlar (10.8-rasm, g) yordamida ham susaytirish mumkin. Bu holda klapan va energiyani yutuvchi elastik elementlarining inertligini iloji boricha kamaytiriladi.

Klapanli susaytirgichga kirgan suyuqlikning elastik elementga ta'sirini kamaytirish va uning yaxshiroq ishlashini ta'minlash uchun suyuqlikning atmosferaga oqib ketishiga xizmat qiluvchi qismi bo'ladi.

Uchinchi usul – gidravlik zarba paydo bo'lishi kutiladigan quvurning uzunligini oshirish. Bu holda qarshilik kuchining hisobiga energiya kamayishi va zarba to'lqini davrining ortishi natijasida to'g'ri zarbani yo'qotish yo'li bilan zarba to'lqinining ta'siri kamaytiriladi

10.6. Gidravlik zarbadan amalda foydalanish

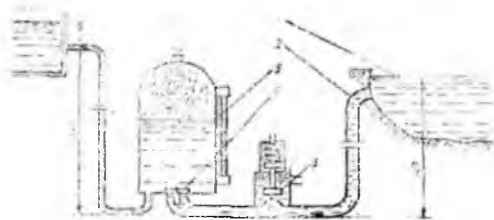
Texnikada ba'zi hollarda gidravlik zarbadan foydalanish ham mumkin. Masalan, gidravlik zarba energiyasidan suyuqliklarni yuqoriga ko'tarish uchun foydalaniladi. Shu maqsadda ishlatiladigan qurilma *gidravlik taran* deyiladi.

Gidravlik taranning tuzilishi juda sodda bo'lib, uning asosiy qismlari havo qalpog'i va xabarchi klapan iboratdir (10.9- rasm).

Ta'minlovchi idish 1 dan quvur 2 orqali oqayotgan suyuqlik klapan 3 orqali oqayotgan bo'ladi.

Gidrotaran ish siklining bu davri tezlanish davri deyiladi. Klapan 3 ga kirishda oqimning kesimi torayib boradi (tirqish 4) va Bernulli printsipiga asosan suyuqlikning

tezligi ortib, bosimi kamayib boradi. Natijada kesimning eng toraygan yerida bosim shunchalik kamayadiki, klapan 3 prujinaning qarshiligini yengib, tirqish 4 ni yopib qo'yadi. Bu yopilish bir onda (sekundning kichik ulushlarida) bo'lgani uchun sistemada gidravlik zarba tarqaladi. Gidravlik zarba bosimi ta'sirida klapan 6 ochilib, havo qalpog'iga suyuqlik zarb bilan kiradi va undagi havoni siqadi. Shu bilan birga zarba kuchi suyuqlikning bir qismini haydash quvuri 7 orqali qabul qiluvchi idish 8 ga chiqarib beradi. Gidrotaran ish siklining bu davri haydash davri deyiladi. Zarba bosimi havo qalpog'ida so'nib va quvurda ta'minlovchi idishdagi sath balandligi H_1 , bilan ifodalanuvchi normal bosim tiklanadi yoki teskari zarba hosil bo'lib, quvurda bosim



10.9-rasm. Gidravlik taran

kamayadi. Natijada klapan 3 ochilib, gidrotaranda sikl yana takrorlanishi uchun sharoit vujudga keladi. Gidrotaranlarni hisoblashda foydali ish koeffitsiyentini aniqlash uchun Eytelveyn quyidagi formulani taklif qilgan

$$\eta = 1,12 - 0,2 \sqrt{\frac{H_2 - H_1}{H_1}} \quad (10.37)$$

bu yerda H_1 , H_2 - ta'minlovchi va qabul qiluvchi idishdagi suyuqlik sathining balandligi.

Ba'zida zarba bosimi Δp_3 ni kamaytirishdan ko'ra sistemaning zaif qismlarining mustahkamligini oshirishni afzal ko'riladi.

X bob bo'yicha nazorat savollari

1. Siqilmaydigan suyuqlikning deformatsiyalanmaydigan quvurlarda inertsiya bosimi hisobga olingan beqaror harakati
2. Gidravlik zarba hodisasi
3. To'g'ri zarba uchun N. E. Jukovskiy formulasi
4. Gidravlik zarbadan amalda foydalanish
5. Gidravlik taran.