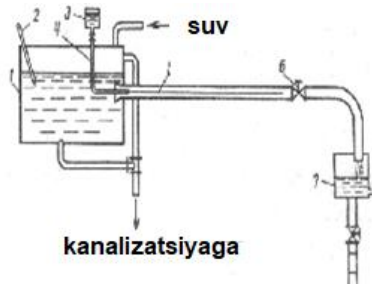


3-Mavzu: HAQIQIY SUYUQLIKLARNING HARAKAT REJIMLARI, GIDRAVLIK QARSHILIKLAR.

Reja:

1. Turbulent va laminar rejim.
2. Suyuqlik oqimining tuzilishi.
3. Mahalliy qarshilik. Ichki ishqalanish koeffitsienti.
4. Suyuqliklarning donasimon qatlamdagi harakati.

Suyuqlik harakati rejimlari birinchi bor tajriba qurilmasida 1883 yili ingliz olimi Reynol'ds tomonidan o'rganilgan (1-rasm).



1-rasm. Reynold qurilmasi. 1-bak; 2-termometr; 3-rangli modda chun idish; 4-kapillyer truba; 5-truba; 6-kran; 7-yig'gich.

Suyuqlikning bak 1 dan oqib chiqishi o'zgaras naporda sodir bo'ladi. Suyuqlik sarfi esa, kran 6 yordamida rostlanadi va o'lchov idishi 7 da uning miqdori aniqlanadi. Truba 5 ning o'qi bo'ylab kapillyar trubka 4 o'rnatiladi va u orqali rangli suyuqlik uzatiladi. Tajriba paytida truba 5 ga asosiy suyuqlik bilan birga rangli suyuqlik yuboriladi. Truba 5 ichida tezliklar kichik bo'lganda, rangli suyuqlik oqimchasi oqim o'qi bo'ylab ingichka chiziq bo'lib cho'ziladi va bir tekis harakat qilayotganini ko'ramiz. Agar, turli joylarda o'rnatilgan bir nechta turli kapillyar naychalardan asosiy oqimga o'rnatilgan rangli suyuqlik yuborsak, bir-biri bilan yo'nalishlari kesishmaydigan oqimchalarni kuzatamiz. Truba ichida suyuqlik oqimchalarining parallel yo'nalish bo'ylab, ya'ni texnikada laminar rejim deb nomlanuvchi, suyuqlikning oqimchali harakati sodir bo'ladi.

Oqimda tezliklar taqsimlanishi parabola shaklidagi chiziq bilan ifodalanadi. Bunda, maksimal tezlik oqimning o'qida bo'ladi, minimal tezlik esa - truba devori yaqinidagi qatlamlarga to'g'ri keladi. Truba devoriga yopishib turgan yupqa suyuqlik qatlami- chegaraviy qatlam deb nomlanadi.

Agar, suyuqlik tezligini yanada oshirsak, rangli suyuqlik to'liqsimon harakatlanib butun suyuqlik oqimiga aralashib, ko'rinmay ketadi. Bunga sabab, oqimning ayrim zarrachalari nafaqat truba o'qi bo'ylab gorizontol, chizikli harakat qiladi, balki suyuqlik zarrachalari bir-biri bilan aralashib, ko'ndalang yo'nalishda tartibsiz harakatlanadi. Natijada butun suyuqlik massasi indikator rangiga bo'yaladi. Suyuqlikning bunday to'liqsimon, tartibsiz harakat turbulent rejim deb ataladi. Oqimda tezliklar taqsimlanish cho'qqisi keng, parabolosimon chiziq bilan ifodalanadi.

Ingliz fizik-olimi Reynol'ds tajribalarda suyuqlik tezligi, qovushoqligi, zichligi va truba diametrini o'zgartirdi. Tajribalar tahlili asosida olim quyidagicha xulosaga keldi: suyuqlik oqimining laminar rejimdan turbulent rejimga o'tishi suyuqlik massaviy tezligi ρw , truba diametriga to'g'ri va suyuqlik qovushoqligi μ ga teskari proporsionaldir. Olim tomonidan taklif etilgan o'lchamsiz kompleks Reynol'ds kriteriysi deb yuritiladi.

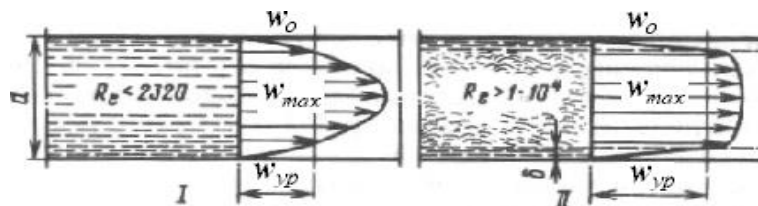
$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{wd}{\nu} \quad (1)$$

bu yerda $\nu = \mu/\rho$ - kinematik qovushoqlik, m^2/s .

Reynol'ds kriteriysining son qiymatlariga qarab, suyuqlik harakat rejimi aniqlanadi. Undan tashqari, ushbu kriteriy qovushoqlik va inertsiya kuchlarining o'zaro nisbatini xarakterlaydi. Bir xil truba diametri va suyuqlik tezligida, yuqori zichlik va kichik qovushoqlikka ega suyuqliklar turbulent rejimga tezroq chiqadi. Laminar rejimdan turbulent rejimga o'tish Reynol'ds kriteriysining kritik qiymatlarida sodir bo'ladi.

Tekis trubalarda suyuqlik oqimi harakati uchun $Re_{kr} = 2320$. Agar, $Re < 2320$ bo'lsa, turg'un laminar rejim bo'ladi. Agar, $2320 < Re < 10000$ bo'lsa, suyuqlik harakati o'tish rejimiga to'g'ri keladi.

Suyuqlik oqimining noturg'un harakatini o'tish rejimi xarakterlaydi. Bu rejimda ikki harakat turi bir vaqtning o'zida sodir bo'lishi yoki biridan ikkinchisiga oson o'tishi mumkin. $Re > 10000$ bo'lsa, turg'un turbulent rejimi bo'ladi. Laminar va turbulent rejimlarda truba kesimida tezliklarning taqsimlanishi 2-rasmda ko'rsatilgan.



2-rasm. Laminar (I) va turbulent (II) harakat rejimlarida

N'yuton ichki ishqalanish qonuniga bo'ysunmaydigan suyuqliklar harakatini modifikatsiyalashgan Reynol'ds kriteriysi xarakterlaydi:

$$Re^* = \frac{d^n \cdot w^{2-n} \cdot \rho}{8^{n-1} k} \quad (2)$$

bu yerda n - oqim indeksi; k - konsistentlik ko'rsatkichi.

Suyuq oziq-ovqat mahsulotlari uchun turg'un laminar rejim $Re^* \ll 1$ bo'lganda sodir bo'ladi.

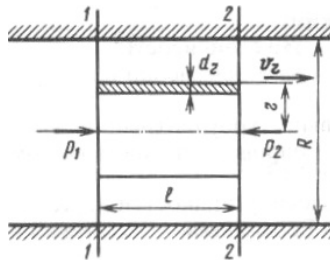
Oqimchali harakat gipotezasidan kelib chiqqan holda, shuni ta'kidlash mumkinki, qatlamlar orasidagi ishqalanish kuchlari ta'sirida har bir qatlamdagi suyuqlik zarrachasining tezligi avvalgidan farq qiladi.

Suyuqlik qatlamlari orasida urinma kuchlanishlar bo'lgani uchun ishqalanish kuchlari hosil bo'ladi. N'yuton qonuniga binoan:

$$\tau = \pm \mu \frac{dw_r}{dr}$$

Truba devorida urinma kuchlanish maksimal va oqim o'qida minimal qiymatga ega. Demak, truba devoridan suyuqlik oqimchasi qanchalik uzoqda bo'lsa, uning tezligi shuncha katta bo'ladi va maksimal qiymati oqim o'qiga to'g'ri keladi.

Suyuqlik oqimida tezliklar taqsimlanish qonunini aniqlash uchun oqim o'qidan r masofada joylashgan, uzunligi l va qalinligi dr bo'lgan elementlar tsilindr shaklidagi suyuqlik bo'lakchasini ajratib olamiz (3-rasm.)



3-rasm. Tezliklar taqsimlanish qonuniga keltirib chiqarishga oid.

Suyuqlik turg'un harakatida jarayonni harakatga keltiruvchi kuchi $R=R_1-R_2$ butunlay ichki ishqalanish qarshiligi T ni yengishga sarflanadi:

$$P_1 - P_2 = T$$

lekin

$$P_1 - P_2 = (p_1 - p_2)\pi r^2$$

bu yerda p_1 va p_2 – 1-1 va 2-2 kesimlardagi gidrostatik bosim.

Yuqorida keltirilgan tenglamaga binoan ishqalanish kuchi quyidagiga teng:

$$T = -\mu F \frac{dw_r}{dr}$$

bu yerda F - elementar tsilindr shaklidagi suyuqlikning tashqi yuzasi $F=2 \pi r l$.

Unda

$$(p_1 - p_2)\pi r^2 = -\mu 2\pi r l \frac{dw_r}{dr}$$

o'zgaruvchilarni bo'lish va tegishli qisqartirishlardan so'ng ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} r dr = -dw_r$$

Bu tenglamani integrallasak

$$\int_r^R \frac{p_1 - p_2}{2\mu l} r dr = - \int_{w_r}^0 dw_r$$

Truba devori atrofida tezlik $w=0$ ekanligini inobatga olsak, $r=R$ bo'ladi.

Integrallashdan so'ng quyidagi tenglamani olamiz

$$\frac{p_1 - p_2}{2\mu l} \left(\frac{R^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right) = w_r$$

bu yerda R - truba radiusi.

Oxirgi olingan tenglamadan tezlikni aniqlasa bo'ladi:

$$w_r = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (R^2 - r^2)$$

Truba o'qidagi ($r=0$) maksimal tezlik ushbu tenglamadan topiladi:

$$w_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} \cdot R^2 \quad (3)$$

(3.2) tenglamani (3.3) ga bo'lib, quyidagi ko'rinishga erishamiz:

$$w_r = w_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (4)$$

Ushbu tenglama Stoks qonuni bo'lib, trubada laminar rejimda harakatlanayotgan suyuqlik qatlamlarida tezliklarning parabolik taqsimlanishini ifodalaydi.

Stoks laminar rejimidagi suyuqlik sarfini aniqlash mumkin. Buning uchun oqim o'qidan r masofa joylashgan, dr kenglikdagi elementar halqasimon kesimdan suyuqlikning oqib o'tishini ko'rib chiqamiz.

Halqasimon kesim yuzasi $df=2\pi r dr$ ga teng.

Ushbu ko'ndalang kesimdan oqim o'tayotgan suyuqlikning tezligi w_r bo'lsa, uning sarfi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dV_{cek} = w_r df = 2\pi w_r \cdot r dr \quad (5)$$

Tezlik w_r ni (2) tenglama orqali ifodalab (5) qo'ysak,

$$dV_{cek} = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (R^2 - r^2) 2\pi r dr \quad (6)$$

Integrallashdan so'ng ushbu ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$V_{cek} = \frac{p_1 - p_2}{8\mu l} \cdot \pi \cdot R^4 \quad (7)$$

yoki

$$V_{cek} = \frac{\pi d^4 \cdot \Delta p}{128 \mu l} \quad (8)$$

bu yerda d -truba diametri.

Ma'lumki, suyuqlik sarfini trubadagi suyuqlikning o'rtacha tezligi orqali aniqlash mumkin:

$$V_{cek} = \pi R^2 \cdot w_{yp} \quad (9)$$

(7) va (9) tenglamalarni solishtirib, ushbu tenglamani olamiz:

$$w_{yp} = \frac{p_1 - p_2}{8 \mu l} \cdot R^2 \quad (10)$$

Agar, (2) tenglamani ham hisobga olsak:

$$w_{yp} = \frac{w_{max}}{2} \quad (11)$$

Sanoat qurilmalarida suyuqliklar turbulent harakati juda keng tarqalgan. Turbulent rejimda zarrachalarning xaotik, tartibsiz harakati tufayli oqimning asosiy qismida tezliklar ancha tekislanadi.

Tajribalar shuni ko'rsatdiki, turbulent rejimda suyuqlikning o'rtacha tezligi $w_o'r$ laminar rejimdagi kabi maksimal tezlikning yarmiga teng bo'lmay, undan ancha katta bo'ladi, ya'ni Reynol'ds sonining funksiyasidir $w/w_{max}=f(Re)$. Masalan, $Re=10^4$ bo'lsa $w_{ur} \approx 0,8 \cdot w_{max}$, $Re=10^8$ da $w_{ur} \approx 0,9 \cdot w_{max}$.

Lekin shuni alohida ta'kidlash kerakki, turbulent rejim o'ta murakkab xarakterli bo'lgani uchun, nazariy usul bilan suyuqlik tezliklarining taqsimlanish profilini aniqlash qiyin. Bunga sabab suyuqlik zarrachalarining tartibsiz harakati va ularning intensiv aralashishidir. Oqibatda, suyuqlik ayrim zarrachalari tezligining yo'nalishi va kattaliklarining lokal o'zgarishlari juda tez sodir bo'ladi. Bunday fluktuatsiyalar xaotik xarakterga ega.

Oqimning istalgan nuqtasi uchun haqiqiy oniy tezlik w_x vaqt τ ga bog'liqligini ham ko'rish mumkin. Turbulent rejimda tezlik qandaydir o'rtaga tezlik atrofida pul'satsiya qilib turadi. Ushbu nuqta uchun o'rtacha tezlik \bar{w}_x quyidagi ifodadan topiladi:

$$\bar{w}_x = \frac{\int_0^{\tau} w_x d\tau}{\tau} \quad (12)$$

bu yerda $w_x - x$ o'qi bo'ylab suyuqlik zarrachasining oniy tezligi.

Turbulent rejim har doim laminar rejim bilan barobar yuz beradi.

Nazariy va tajribaviy izlanishlar shuni ko'rsatdiki, turbulent rejimdagi harakatni oqim yadrosi va gidrodinamika chegaraviy qatlamdan tarkib topgan deb hisoblash mumkin. Bu qatlam ichida yupqa, millimetrning bir necha ulushiga teng qalinlikdagi laminar chegaraviy qatlam bor. Gidrodinamika chegaraviy qatlam

qalinligi δ Reynol'ds soniga bog'liqdir va uning tahminiy qiymatini Levich tenglamasidan aniqlash mumkin:

$$\delta = \frac{30d}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \quad (13)$$

bu yerda d -truba diametri.

Turbulent rejimda truba devorining g'adir-budurligi suyuqlik harakati qarshiligiga salmoqli ta'sir etadi. Trubalarning g'adir-budurligi absolyut geometrik va nisbiy g'adir-budurligi bilan xarakterlanadi. Truba devorlaridagi g'adir-budurliklar o'rtacha balandliklarining truba uzunligi bo'yicha o'lchanishi absolyut g'adir-budurlik deb ataladi.

Truba devorlaridagi g'adir-budurliklar balandligi Δ ning ekvivalent diametri d ga nisbati (Δ/d_s) nisbiy g'adir-budurlik deyiladi va u ushbu fomuladan aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d_s}$$

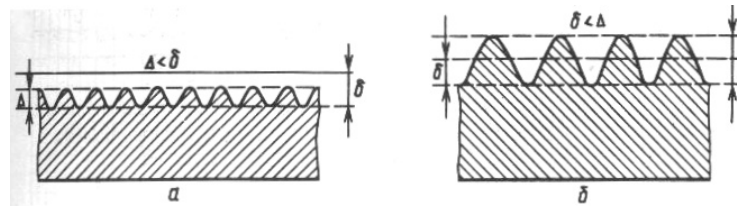
Truba devori g'adir-budurliklarining o'rtacha balandligi truba materiali, uning yasash usuli va ishlatilish davomiyligiga bog'liq:

Truba	Δ , mm
Yangi shisha va po'lat trubalar	0,06...0,1
Ishlatilgan po'lat trubalar	0,10...0,2
CHO'yan va keramik trubalar	0,35...1,0
Korroziyaga uchragan po'lat va cho'yan trubalar	0,50...2,0

Reynol'ds kriteriysi qiymatiga qarab chegaraviy qatlam qalinligi δ o'zgaradi. Truba g'adir-budurliklari chegaraviy qatlamdan chiqib qolish holati juda ko'p napor yo'qotilishiga olib keladi.

δ va Δ nisbatlarining qiymatlariga qarab trubalar gidravlik silliq va g'adir-budur bo'ladi.

Agar $\Delta < \delta$ bo'lsa, trubalar gidravlik tekis deb ataladi (4-rasm). Bunda, suyuqlik laminar yupqa qatlam bo'ylab sirpanadi, ya'ni suyuqlikning suyuqlikka ishqalanishi yuz beradi.



4-rasm. Gidravlik silliq (a) va g'adir-budur (b) trubalar.

Agar $\Delta > \delta$ bo'lsa, trubalar gidravlik g'adir-budur deb nomlanadi. Bunda naporning yo'qotilishi truba devorining g'adir-budurligi bilan belgilanadi, chunki suyuqlik g'adir-budur truba devoriga ishqalanib, harakat qiladi.

Laminar rejimda naporning yo'qotilishi suyuqlik tezligining birinchi darajasiga, rivojlangan turbulent rejimda esa-tezlik kvadratiga proporsionaldir.

Laminar chegaraviy yupqa qatlamli turbulent va o'tish rejimlarida, naporning yo'qotilishi tezlikning kvadratidan kichikroq darajaga proporsional bo'ladi. Har bir aniq holat uchun ushbu ko'rsatkich tajribaviy usul bilan topiladi.

Suspenziya va emul'siyalar hosil qilish uchun suyuqlik muhitlarida aralashtirish jarayoni qo'llaniladi. Plastik va sochiluvchan materiallarni qorishtirishdan maqsad, tarkibida qattiq, suyuq va plastik qo'shimcha moddali, bir jinsli asosiy massa olishdir.

Aralashtirish paytida issiqlik, massa va biokimyoviy jarayonlar intensivlashadi. Aralashtirish jarayonini amalga oshirish uchun turli usullar va aralashtirgich konstruktsiyalari qo'llaniladi. Aralashtirish sifati fazalarni qorishtirish darajasi bilan xarakterlanadi. Aralashtirish qurilmasining butun hajmidagi fazalarni qorishtirish darajasi I quyidagi tenglama yordamida aniqlanishi mumkin:

$$I = 1 - \frac{\sum_1^m \frac{\Delta x'}{100 - x_{ap}} + \sum_1^n \frac{\Delta x''}{x_{ap}}}{m + n} \quad (14)$$

bu yerda m – tahlil uchun olingan namuna, $\Delta x > 0$; $\Delta x'$ - aralashtirgichdagi musbat kontsentratsiyalar farqi va u ushbu formuladan topiladi $\Delta x' = x - x_{ar}$; x_{ar} - ideal qorishtirishda aralashmadagi zarrachalar kontsentratsiyasi bo'lib, u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$x_{ap} = \frac{100V_k \cdot \rho_k}{V_c \rho_c + V_k \rho_k}$$

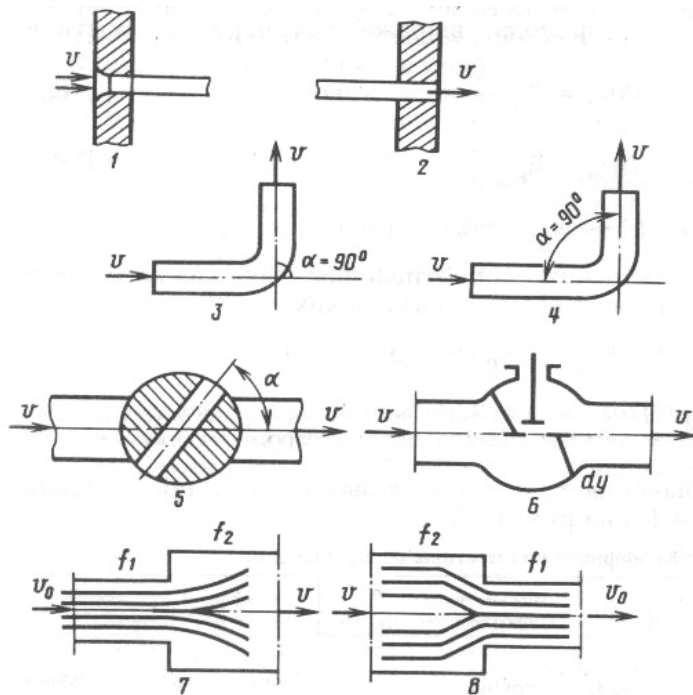
bu yerda V_k - asosiy massada (suyuqlikda) taqsimlangan qattiq zarrachalar hajmi; ρ_k, ρ_s - aralashmadagi qattiq zarracha va suyuqlik zichliklari; V_c - suyuqlik hajmi; n – tahlil uchun olingan namunalar soni, $\Delta x'' < 0$; $\Delta x''$ - manfiy kontsentratsiyalar farqi, $\Delta x'' = x - x_0$ formuladan hisoblab topiladi.

Fazalarni qorishtirish darajasi 0 dan 1 gacha o'zgarishi mumkin. Agar, komponentlar ideal qorishtirilsa, $I = 1$ ga teng bo'ladi.

Amaliy gidrodinamikaning asosiy masalalaridan biri bo'lib haqiqiy suyuqlik harakatidagi gidravlik qarshilikni aniqlash hisoblanadi.

Chunki, yo'qotilgan napor $h_{yo'q}$ (yoki $\Delta r_{yo'q}$)ni bilmasdan turib nasos, ventilyator, gazoduvka va kompressorlar yordamida suyuqliklarni uzatish uchun zarur bo'lgan energiya sarfini aniq hisoblab bo'lmaydi. Undan tashqari $h_{yo'q}$ (yoki $\Delta r_{yo'q}$) bilmasdan turib, haqiqiy suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasini qo'llab bo'lmaydi.

Truba quvurlarida napor (yoki bosim)ning yo'qotilishiga ishqalanish qarshiligi va mahalliy qarshiliklar sababchi bo'ladi.



5-rasm. Mahalliy qarshiliklar.

yopuvchi va rostlovchi uskuna (ventil, zadvijka, tiqinli kran) va boshqalar kiradi (5-rasm).

Ayrim mahalliy qarshiliklar uchun ξ ning o'rtacha qiymatlari 1 jadvalda keltirilgan.

Trubadan haqiqiy suyuqlik harakat qilganda, naporning yo'qotilishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$h_{uyk} = h_{uk} + h_{mk} \quad (15)$$

bu yerda h_{ik} va h_{mk} - ishqalanish va mahalliy qarshiliklarni yengish uchun yo'qotilgan napor.

Ishqalanish qarshiligi (yoki uzunlik bo'yicha qarshilik) – trubadan haqiqiy suyuqlik harakat qilganda, ichki ishqalanish qarshiligi, uning butun uzunligi bo'yicha mavjud. Ichki ishqalanish kuchining kattaligi suyuqlik oqimining rejimi (laminar, turbulent, turbulentlik darajasi)ga bog'liq.

Mahalliy qarshiliklar – suyuqlik oqimi tezligi va harakat yo'nalishi qiymatining istalgan o'zgarishidir. Ularga qo'yidagilar: keskin va asta-sekin toraygan va kengaygan qismlar, tirsaklar, jo'mrak,

1 jadval

Mahalliy qarshiliklar koeffitsientlari

5-rasmdagi mahalliy qarshilik tartibi	Mahalliy qarshilik turi	Mahalliy qarshilik koeffitsienti , ξ_{mq}
1.	Trubaga kirish	0,2...0,5
2.	Trubadan chiqish	1,0
3.	90 ⁰ ga to'g'ri burchak ostida burilish $\alpha=90^0$ li tirsak	0,15 1,1... 1,3
4.	Tiqinli kran:	
5.	Butunlay ochiq $\alpha=20... 50^0$	0,05
6.	Standart ventill' $d_{sh}=20mm$ $d_{sh}=40mm$ va undan ortiq	2 ... 95 8 4...6
7.	To'satdan kengayish ($Re>3500$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,50 0,40 0,35 0,30
8.	To'satdan torayish ($Re>10^4$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,25 0,45 0,40 0,35 0,30 0,25

To'g'ri trubada laminar rejimda harakat qilayotgan suyuqlik uchun ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan napor Puazeyl' tenglamasidan topilishi mumkin.

Bernulli tenglamasiga binoan gorizontol ($z_1=z_2$) va o'zgarmas kesimli ($w_1 = w_2$) truba quvurlarida ishqalanish qarshiligini yengishga yo'qotilgan napor:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} = h_{uk}$$

Agar, $\Delta p = \rho g h$ ni va hajmiy sarf V ni tezlik w ko'ndalang kesim yuzasiga ko'paytmasi bilan almashirsak, quyidagi ko'rinishgi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$w \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^4 \rho g h_{uk}}{128 \mu l}$$

bu yerda l va d – truba uzunligi va diametri; μ va ρ - suyuqlik qovushoqligi va zichligi.

qisqartirishdan so'ng yo'qotilgan naporni aniqlash formulasi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$h_{uk} = \frac{32 w \mu l}{\rho g d^2}$$

Tenglama o'ng tomonining surati va mahrajini $2w$ ko'paytirsak:

$$h_{uk} = \frac{64 \mu}{w d \rho} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$$

Shunday qilib, dumaloq ko'ndalang kesimli trubada suyuqlik laminar rejimda harakat qilganda yo'qotilgan napor:

$$h_{uk} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (16)$$

ya'ni, ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan napor tezlik nabori $ht = w^2/2g$ orqali ifodalanadi.

Ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan napor tezlik naboridan qanchalik farq qilish kattaligi ishqalanish qarshiligi koeffitsienti deb ataladi va ξ harf bilan belgilanadi.

$$\xi_{uk} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d}$$

bu yerda $\frac{64}{Re}$ - gidravlik ishqalanish yoki ishqalanish koeffitsienti va λ deb belgilanadi.

Laminar ($Re < 2320$) rejimda gidravlik ishqalanish koeffitsienti faqat Reynol'ds kriteriysining son qiymatiga bog'liq. Bularni hisobga olsak, (16) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozsa bo'ladi:

$$h_{uk} = \xi_{uk} \frac{w^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (17)$$

Agar, $\Delta p_{iq} = \rho g h_{iq}$ ligini hisobga olsak, ishqalanish qarshiligini yengishda yo'qotilgan bosim Δp_{iq} quyidagi tenglamadan hisoblanishi mumkin:

$$\Delta p_{uk} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (18)$$

bu yerda ρ - suyuqlik zichligi.

Agar, trubaning ko'ndalang kesimi dumaloq bo'lmasa, Reynol'ds kriteriysida d o'rniga ekvivalent diametr d_e qo'yiladi. Unda

$$\lambda = \frac{B}{Re}$$

bu yerda B – ko'ndalang kesim shakliga bog'liq koeffitsient, kvadrat kesim uchun $B=57$, dumaloq kesim uchun $B=96$ va hokazo.

Gidravlik silliq trubalar uchun ($2320 < Re < 104$) gidravlik qarshilik koeffitsienti Blaziusning empirik formulasidan:

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (19)$$

yoki Konakov formulasidan aniqlash mumkin:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2} \quad (20)$$

gadir-budur trubalar uchun gidravlik qarshilik koeffitsienti ushbu funktsiya ko'rinishida ifodalanadi:

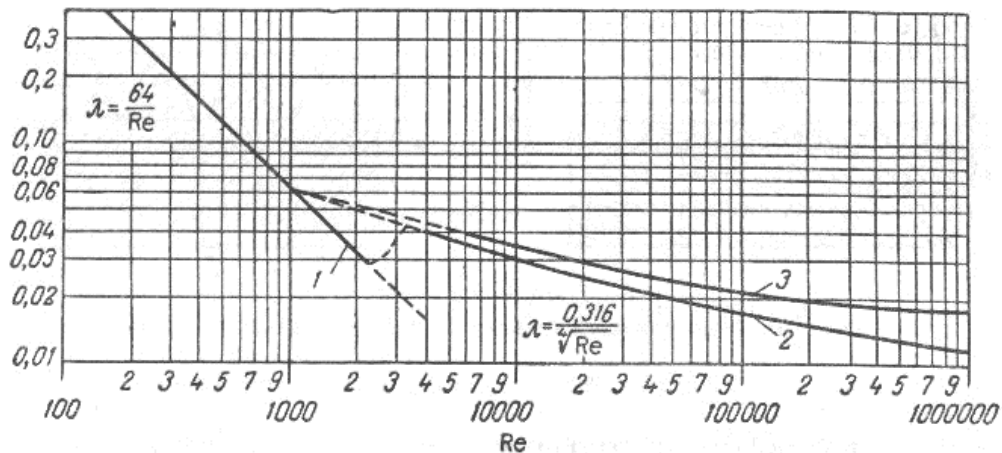
$$\lambda = f(Re, \Delta/d)$$

bu yerda $\varepsilon = \Delta/d$ – nisbiy g'adir-budurlik.

Gidravlik qarshilik koeffitsienti λ ni aniqlash uchun quyida keltirilgan grafik tavsiya etiladi (6-rasm). Undan ko'rinib turibdiki, tekis trubalar λ sidan g'adir-budur trubalarniki ancha yuqori.

Grafikdan ko'rinib turibdiki, Re soni ortishi bilan $\lambda = f(Re)$ bog'liqlik avval aralash ishqalanish sohasiga, bu yerda $\lambda = f(Re, \Delta/d)$, so'ng esa avtomodel sohasi $\lambda = f(\Delta/d)$ ga o'tadi. Turbulent harakat rejimlarining hamma sohalari uchun gidravlik qarshilik koeffitsientini hisoblashning umumlashtirilgan tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = -2 \lg \left[\frac{\Delta/d}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] = -2 \lg \left[\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \quad (21)$$



6-rasm. Gidravlik qarshilik koeffitsienti λ ning Reynolds kriteriysiga bog'liqligi.

1-tekis va g'adir-budur trubalar(laminar rejim); 2-po'lat, mis, shisha va latun tekis trubalar; 3-po'lat va cho'yan g'adir-budur trubalar.

Agar, (21) formuladagi birinchi qo'shiluvchini inobatga olmasak, ushbu formulani olamiz:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = -2 \lg \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} = 1,8 \lg Re - 1,5 \quad (22)$$

Gidravlik qarshilik Re ga bog'liq bo'lmagan avtomodel soha uchun ikkinchi qo'shiluvchini inobatga olmasa ham bo'ladi. Unda:

$$\frac{1}{\sqrt{x}} = 2 \lg \frac{3,7}{\Delta/d} = 2 \lg \frac{3,7}{e} \quad (23)$$

N'yuton qonuniga bo'ysinmaydigan suyuqliklar uchun $Re^* = 3000 \dots 100000$ da gidravlik qarshilik koeffitsientini topishda quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$\lambda = a / (Re^*)^b \quad (24)$$

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, mahalliy qarshiliklarda naporning yo'qotilishi ishqalanish qarshiliklardagi kabi tezlik nabori orqali ifodalaniladi.

Mahalliy qarshiliklar tufayli yo'qotilgan napor h_{mq} ning tezlik nabori $h_t = w^2/2g$ nisbatiga mahalliy qarshilik koeffitsienti deb ataladi va u ξ_{mk} harfi bilan belgilanadi.

Unda, turli mahalliy qarshiliklar uchun

$$\begin{aligned}
 h_{mk1} &= \xi_{mk1} \frac{w^2}{2g} \\
 h_{mk2} &= \xi_{mk2} \frac{w^2}{2g} \\
 &\dots\dots\dots \\
 h_{mkn} &= \xi_{mkn} \frac{w^2}{2g}
 \end{aligned}$$

Hamma mahalliy qarshiliklar uchun:

$$h_{mk} = \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} \quad (25)$$

umumiy naporning yo'qotilishi, quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$h_{iyc} = \xi_{uc} \frac{w^2}{2g} + \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} = \sum \xi \frac{w^2}{2g} \quad (26)$$

bu yerda $\sum \xi$ - qarshilik koeffitsientlarining yig'indisi.

Shunday qilib, naporning yo'qotilishi ushbu formuladan topiladi:

$$h_{iyc} = \left(\lambda \frac{l}{d_3} + \sum \xi_{mk} \right) \frac{w^2}{2g} \quad (27)$$

Agar, $\Delta r = \rho g h_{uc}$ hisobga olsak, umumiy bosimning yo'qotilishi esa, quyidagi tenglamadan aniqlash lozim:

$$\Delta p_{iyc} = \left(\lambda \frac{l}{d_3} + \sum \xi_{mk} \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (28)$$

Gaz energiyasi hisobiga qattiq zarrachalarning bir - biriga nisbatan tartibsiz harakatiga, ya'ni qatlam xuddi qaynayotgandek bo'lib ko'rinishiga «qattiq jism – gaz» ikki fazali sistemaning mavhum qaynashi deb ataladi. Ishchi eltkich ta'sirida hosil bo'lgan mavhum qaynash sistemasining mavhum qaynash yoki qaynash qatlami deb nomlanishining kelib chiqish sabablaridan biri, ushbu qatlamga tomchili suyuqliklar ko'p xossalarning mosligidir.

Agar, qattiq material qatlamining mavhum qaynash holatini ta'minlovchi tezlik bilan yuqoriga qarab ishchi eltkich harakat qilsa, mavhum qaynash qatlami hosil bo'ladi.

Oxirgi vaqtda kimyo va oziq - ovqat sanoatlarining barcha korxonalarida mavhum qaynash jarayonlari keng ko'lamda qo'llanilmoqda. Ushbu jarayon aralashirish, uzatish, sochiluvchan materiallarni klassifikatsiyalash, issiqlik almashinish, quritish, adsorbtsiya, absorbttsiya, granullash, kristallanish va boshqa jarayonlarda yuqori natijalar bermoqda. Bunday ijobiy natijalar mavhum qaynash jarayonining quyidagi afzalliklari bilan belgilanadi:

1. Qattiq zarrachalar intensiv aralashishi, qurilmaning butun hajmi bo'ylab material

temperaturasi va konsentratsiyalarining tekislanishiga olib keladi. Bu hol o'z navbatida jarayonni optimal tashkil etishga halaqit beruvchi qattiq zarrachalarni lokal o'ta qizib ketish oldini oladi;

2. Mavhum qaynash qatlamining yuqori oquvchanligi materialni beto'xtov uzatuvchi va tayyor mahsulotni to'kuvchi, ya'ni uzluksiz ravishda ishlaydigan qurilmalarni yaratish imkonini beradi;

3. Kichik o'lchamli, katta solishtirma yuzali zarrachalar qayta ishlanganda issiqlik va massa almashinish yuzalari keskin ortadi, hamda diffuzion qarshilik kamayadi. Bu hol o'z navbatida qurilmaning ish unumdorligini oshirishga olib keladi;

4. Issiqlik almashinish jarayonlari intensivlashadi, bu esa issiqlik almashinish qurilmalari ishchi hajmlarini kamaytirish imkonini yaratadi;

5. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar gidravlik qarshiligi kichik bo'ladi va gaz oqimining tezligiga bog'liq emas;

6. Qattiq zarrachalar va ishchi eltkichlar xossalari juda keng oralikda o'zgaradigan, hamda suspenziya va pastasimon materiallar ham mavhum qaynash jarayonida qayta ishlanishi mumkin;

7. Mavhum qaynash qatlamli qurilmalar tuzilishi sodda, ixcham va oson avtomatlashtiriladi.

Yuqorida qayd etilgan afzalliklar bilan birga, mavhum qaynash jarayonining quyidagi kamchiliklari bor:

- bir sektsiyada zarracha va ishchi eltkichlarning bo'lish vaqti bir xil emas;

- mavhum qaynash qatlamida zarrachalar bir - biriga urilishi natijasida yediriladi;

- zarrachalarni yedirilishi natijasida hosil bo'lgan chang qurilmadan uchib ketadi.

Bu hol, albatta qo'shimcha chang ushlagichlar o'rnatilishini taqozo etadi;

- dielektrik material zarrachalari mavhum qaynash qatlamli qurilmalarda ishlov berilganda, statik elektr zaryadlar hosil qiladi. Bu esa, portlash havfni tug'diradi.

Qayd etilgan mavhum qaynash jarayonining kamchiliklari salmoqli emas va ular qisman yoki butunlay bartaraf qilinishi mumkin.

Sochiluvchan, donador materiallar qatlami gidravlik qarshilik, zarrachalar o'lchami, solishtirma yuza va bo'sh hajm ulushi bilan xarakterlanadi.

Solishtirma yuza - a (m^2/m^3) qatlamning hajm birligida joylashgan hamma zarrachalar yuzasini ifodalaydi.

Donasimon zarrachalar orasidagi bo'shliq hajmining qatlam hajmiga nisbati **bo'sh hajm** yoki **g'ovaklilik** (ε) deyiladi va u o'lchamsiz kattalikdir:

$$\varepsilon = \frac{V - V_0}{V}$$

bu yerda V - donasimon qatlam hajmi, m^3 ; V_0 - qatlam zarrachalari egallagan hajm, m^3 .

Agar, biror qurilmada donasimon materiallar balandligi N (m) ko'ndalang kesim yuzasi F (m^2) bo'lsa, unda qatlam hajmi $V = FH$ va zarrachalar egallab turgan hajm $V_0 = FH(1-\varepsilon)$ ga teng bo'ladi. Tegishli qatlamning bo'sh hajmi $V_{bx} = FH\varepsilon$

zarrachalar yuzasi esa - FNa ga teng.

Qatlam kanallarining ko'ndalang kesimlar yig'indisi yoki qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimini topish uchun V_{bx} ni kanal uzunligiga bo'lish kerak. Agar, kanallarning o'rtacha uzunligi qatlam balandligidan α_e marta ortiq bo'lsa, kanallar uzunligi $\alpha_K N$ va qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimi $FH\varepsilon/\alpha_e H = F\varepsilon/\alpha_e$ (bu yerda α_e - kanallarning egrilik koeffitsienti).

Bo'sh ko'ndalang kesimning ho'llangan perimetri kanallar umumiy yuzasini ularning o'rtacha uzunligiga bo'lish yo'li bilan topiladi, ya'ni $P = FHa/\alpha_K H = Fa/\alpha_K$.

Agar, qatlamning bo'sh ko'ndalang kesimi va ho'llangan perimetri ma'lum bo'lsa, ekvivalent diametrni ushbu tenglamadan aniqlasa bo'ladi:

$$d_3 = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \left(\frac{F\varepsilon}{\alpha_K}\right)}{\frac{Fa}{\alpha_K}} = \frac{4\varepsilon}{a} \quad (29)$$

Ekvivalent diametr d_e qatlam zarrachalari o'lchamlari orqali ham ifodalanishi mumkin. Agar, qatlam hajmi 1 m^3 , zarrachalari soni n ta bo'lsa, ularning hajmi ($1-\varepsilon$) va yuzasi a ga teng deb hisoblaymiz. Unda, bitta zarrachaning o'rtacha hajmi :

$$V_3 = \frac{1-\varepsilon}{n} = \frac{\pi d^3}{6}$$

yuzasi esa:

$$F_3 = \frac{a}{n} = \frac{\pi d^2}{f}$$

bu yerda d - zarracha hajmiga teng ekvivalent sharning diametri; f - shakl koeffitsienti (shar uchun $f = 1$).

Unda, zarracha yuzasining hajmiga nisbati ushbu ko'rinishdan topiladi:

$$\frac{a}{1-\varepsilon} = \frac{6}{df}$$

bundan

$$a = \frac{6 \cdot (1-\varepsilon)}{fd} \quad (30)$$

Agar, (4.23) ni (4.24) tenglamaga qo'ysak, quyidagi formulani olamiz:

$$d_3 = \frac{2f\varepsilon d}{3 \cdot (1-\varepsilon)} \quad (31)$$

Polidispers zarrachalardan tarkib topgan qatlam uchun diametr d ushbu nisbatdan hisoblab topiladi:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \quad (32)$$

bu yerda $x_i - d_i$ diametrli zarrachalarining hajmiy yoki massaviy ulushi.

Donasimon qatlam zarrachalari orasidagi kanallarda harakatlanayotgan oqimning haqiqiy tezligi w ni aniqlash juda qiyin. Shuning uchun, avval suyuqlikning mavhum tezligi w_0 topiladi. Haqiqiy va mavhum tezliklar orasida quyidagi bog'liqlik bor:

$$w = \frac{w_0}{\varepsilon} \quad (33)$$

Suyuqlik donasimon qatlamga harakat qilganda, (ishqalanish qarshiligi) gidravlik qarshilikni, bosim yo'qotilishini hisoblash formulasi (33) dan topish mumkin:

$$\Delta P_{uk} = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho w^2}{2} = \lambda \frac{H}{\left[\frac{2fed}{3 \cdot (1 - \varepsilon)} \right]} \frac{\rho \cdot \left(\frac{w_0}{\varepsilon} \right)^2}{2}$$

yoki

$$\Delta P = \frac{3 \cdot (1 - \varepsilon)}{2\varepsilon^3 f} \lambda \frac{H}{d} \frac{\rho w_0^2}{2} \quad (34)$$

Ma'lumki, gidravlik qarshilik koeffitsienti λ gidrodinamik rejimga bog'liq bo'lib, Reynol'ds kriteriysi qiymati bilan belgilanadi.

Agar (34) dan w va (31) dan d_e larning qiymatlarini Re qo'ysak, ushbu ko'rinishdagi Reynol'ds kriteriysini olamiz:

$$Re = \frac{wd_s \rho}{\mu} = \frac{w_0 4\varepsilon \rho}{\varepsilon a \mu}$$

yoki

$$Re = \frac{4w_0 \rho}{a \mu} = \frac{4W}{a \mu} \quad (35)$$

bu yerda W - qurilmaning 1 m² ko'ndalang kesimiga to'g'ri keladigan suyuqlikning massaviy tezligi, kg/(m²·s).

Olingan formuladagi solishtirma yuza a o'rniga (30) tenglamadagi qiymatni yoki Re formulasiga d_e ning qiymatini (31) dan to'g'ridan – to'g'ri qo'ysak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$Re = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{w_0 d \rho}{\mu} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1 - \varepsilon} \cdot Re_0 \quad (36)$$

bu yerda:

$$Re_0 = \frac{w_0 d \rho}{\mu} \quad (37)$$

Gidravlik qarshilik koeffitsienti λ ni hisoblash uchun bir qator formulalar keltirib chiqarilgan. Suyuqliklarning sochiluvchan, donador qatlamlarda harakat qilishidagi hamma rejimlar umumiy gidravlik qarshilik koeffitsientini hisoblash quyidagi formula yordamida amalga oshiriladi:

$$\lambda = \frac{133}{Re} + 2,34 \quad (38)$$

Shuni alohida qayd etish kerakki, gaz donador qatlam orqali harakat qilganda turbulent rejim, suyuqlik truba ichida harakat paytidagidan, avvalroq boshlanadi. Lekin, laminar va turbulent rejimlar orasida keskin o'tish holati yo'q. Laminar rejim $Re < 50$ dan qiymatlarda amalga oshadi. Ushbu rejimda donador qatlam uchun $\lambda = A/Re$.

Agar, $Re < 1$ bo'lganda qo'shiluvchi hisobga olinmaydi, ya'ni λ quyidagi formuladan topiladi:

$$\lambda = \frac{133}{Re} \quad (39)$$

Agar, $Re > 700$ bo'lganda, donador qatlamda turbulent rejimning avtomodel' sohasi boshlanadi, ya'ni jarayon tezlikga bog'liq bo'lmaydi. Unda, (38) formuladagi birinchi qo'shiluvchini tushirib qoldirish mumkin, ya'ni :

$$\lambda \approx 2,34 = const \quad (40)$$

Donador qatlam bo'sh hajmi yoki g'ovakliligi ε qurilmaga materialni yuklash uslubiga bog'liq. Masalan, sharsimon materiallar erkin to'kib yuklanganda qatlamning g'ovakliligi o'rtacha $\varepsilon \approx 0,4$ ga teng. Lekin, amaliyotda ε ning qiymati 0,35 dan 0,45 gacha bo'ladi.

Undan tashqari, donador qatlamning ε kattaligi zarracha diametri d va qurilma diametri D orasidagi nisbatga bog'liqdir. Bunga sababchi devor oldi effektidir, ya'ni devor yaqinida zarrachalar zichlanishi har doim kam bo'ladi. SHuning uchun, devor oldida qatlamning g'ovakliligi qurilma markazi g'ovakligidan har doim yuqoridir. Ushbu farq d/D ortishi bilan ko'payib boradi.

Sanoat donador qatlamli qurilmalarini modellashtirishda model qurilma diametri material zarrachalari diametridan eng kamida 8..10 marta katta bo'lishi shart.

Nazorat uchun savollar

1. Turbulent rejimni ahamiyati.
2. Laminar rejimni ahamiyati..
3. Suyuqlik oqimining tuzilishi qanday amalga oshiriladi.
4. Ideal siqib chiqarish modeli nima.
5. Ideal aralashtirish modeli/
6. Truba devori g'adir-budurliklarining o'rtacha balandligi.
7. Fazalarni qorishtirish darajasi.
8. Laminar chegaraviy yupqa qatlami.
9. Mahalliy qarshilik nima.
10. Ichki ishqalanish koeffitsientini ahamiyati.
11. Nisbiy g'adir-budurlik nima.
12. Suyuqliklarning teshiklar orqali oqib chiqishi.
13. Suyuqliklarning donasimon qatlamdagi harakati.
14. Bir va ko'p o'lchamli qatlamning ahamiyati.
15. Mavhum va haqiqiy tezlik.