

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС  
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**



**ҚАРШИ МУХАНДИСЛИК ИҚТИСОДИЁТ ИНСТИТУТИ**

**«Кимёвий технология» кафедраси**

**5320400-Кимёвий технология (Ноорганик моддалар кимёвий  
технологияси) КТ-373 гуруҳ талабаси  
Нурматов Эркиннинг**

**Асосий технологик жараёнлар ва қурилмалар  
фани бўйича мустақил иш учун ёзган**

# **РЕФЕРАТ**

**Бажарди:**

**Нурматов Э**

**Қабул қилди:**

**асс. Ф.Нормаматов**

**ҚАРШИ - 2014**

## **Mavzu: GIDRODINAMIKA**

Reja:

1. Suyuqlik harakatining asosiy xarakteristikolari
2. Oqimning uzluksizlik tenglamasi
3. Suyuqlik harakatining Eyler differensial tenglamasi
4. Haqiqiy suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasi
5. Bernulli tenglamasining amaliy qo`llanilishi

## GIDRODINAMIKA

Suyuqliklarning truba quvurlari va kanallarda oqishi, harakatga keltiruvchi kuch, ya'ni bosimlar farqi ta'sirida ro'y beradi. Ushbu kuch nasos kompressorlar, ayrim hollarda suyuqliklar zichligi yoki sathining farqi yordamida hosil qilinadi.

Ma'lum miqdordagi suyuqlikni zarur tezlikda uzatish uchun bosimlar farqini aniqlash kerak. Undan tashqari, uzatish uchun kerakli energiya miqdorini yoki bosimlar farqi ma'lum bo'lsa, suyuqlik sarfi va tezligi topiladi. Yuqorida ko'rsatilganlarni amalga oshirish uchun gidrodinamika qonuniyatlarini bilish darkor.

Gidrodinamikada tashqi va ichki masalalar bo'ladi. Truba va kanallar ichidagi suyuqlikning harakati - bu gidrodinamikaning ichki masalasidir. Turli jismlar yuzasida suyuqlikning harakati - bu gidrodinamikaning tashqi masalasidir.

### 1. Suyuqlik harakatining asosiy xarakteristikalari

**Suyuqlik sarfi va tezligi.** O'zgarmas ko'ndalang kesimli trubada suyuqlik harakatini ko'rib chiqamiz.

Vaqt birligida ko'ndalang kesim orqali oqib o'tayotgan suyuqlik miqdoriga **suyuqlik sarfi** deyiladi. Agar suyuqlik sarfi  $m^3/s$ ,  $m^3/soat$  o'lchov birliklarida o'lchansa - hajmiy sarf,  $kg/s$ ,  $kg/soat$  larda o'lchansa - **massaviy sarf** deb hisoblanadi.

Oqim ko'ndalang kesimining turli nuqtalarida suyuqlik zarrachalarining tezligi bir xil bo'lmaydi.

Quyida keltirilgan 2.13 - rasmga binoan, truba o'qi atrofida suyuqlik tezligi maksimal, uning devoriga yaqinlashgan sari minimal qiymatga teng bo'ladi. Lekin, ko'pchilik hollarda truba ko'ndalang kesimi orqali oqib o'tayotgan suyuqlik tezliklarining taqsimlanish qonuniyatlari noma'lum yoki uni aniqlash juda qiyin. Suyuqliklarning haqiqiy tezligini o'lchash juda murakkab bo'lgani uchun, muxandislik hisoblashlarda zarrachalar o'rtacha tezligi ishlatiladi. Suyuqlik hajmiy sarfi  $Q$  ( $m^3/s$ ) ning truba ko'ndalang kesim yuzasi  $F$  ( $m^2$ ) nisbatiga **o'rtacha tezlik**  $w$  ( $m/s$ ) deb nomlanadi:

$$w = \frac{Q}{F} \quad (1)$$

Bundan hajmiy sarf,

$$Q = w \cdot F \quad (2)$$

Massaviy sarf  $G$  ( $kg/s$ ) esa, quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$G = \rho \cdot w \cdot F \quad (3)$$

bu erda  $\rho$  - suyuqlik zichligi,  $kg/m^3$

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, yuqorida keltirilgan formulalar istalgan shakldagi ko'ndalang kesimli kanallar uchun ham to'g'ri keladi.

**Gidravlik radius va ekvivalent diametr.** Dumaloq bo'lmagan, istalgan shakldagi ko'ndalang kesimli trubalardan suyuqlik oqib o'tganda, asosiy chiziqli o'lcham sifatida gidravlik radius yoki ekvivalent diametri qabul qilinadi.

Truba yoki kanal ichida harakat qilayotgan oqim ko'ndalang kesim yuzasining perimetriga nisbati **gidravlik radius**  $r_g$  ( $m$ ) deb nomlanadi:

$$r_g = \frac{F}{\Pi} \quad (4)$$

bu erda  $F$  - suyuqlik oqimi ko'ndalang kesim yuzasi,  $m^2$ ;  $\Pi$  - ho'llangan perimetr,  $m$ .

Ichki diametri  $d$ , ko'ndalang kesim yuzasi  $F = \pi d^2/4$  va ho'llangan perimetri  $\Pi = \pi d$  bo'lgan dumaloq truba uchun gidravlik radius ushbu formuladan topiladi:

$$r_g = \frac{F}{\Pi} = \frac{\pi \cdot d^2 / 4}{\pi d} = \frac{d}{4} \quad (5)$$

Gidravlik radius orqali ifodalangan **ekvivalent diametr** quyidagi ko'rinishga ega

$$d = d_e = 4r_g$$

Agar, (4) tenglamani inobatga olsak,

$$d_e = \frac{4 \cdot F}{\Pi}$$

Tomonlari  $a$  va  $v$  bo'lgan to'rtburchak ko'ndalang kesimli suyuqlik bilan to'ldirilgan kanallar uchun gidravlik radius ushbu tenglamadan aniqlanadi:

$$r_g = \frac{F}{P} = \frac{a \cdot v}{2a + 2v} = \frac{a \cdot v}{2 \cdot (a + v)}$$

ekvivalent diametr esa

$$d_e = 4r_g = \frac{4 \cdot a \cdot v}{2 \cdot (a + v)} = \frac{2 \cdot a \cdot v}{a + v}$$

Ichki diametri  $d_i$  va tashqi diametri  $d_t$  bo'lgan ikkita trubalar hosil qilgan halqasimon trubalararo bo'shliqning ko'ndalang kesim yuzasi uchun ekvivalent diametr quyidagi tenglamadan aniqlash mumkin:

$$d_e = \frac{4 \cdot F}{P} = \frac{4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot d_t^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} \right)}{\pi \cdot d_t + \pi \cdot d_u} = \frac{d_t^2 - d_u^2}{d_t + d_u} = d_t - d_u$$

Dumaloq truba uchun  $d_e = d$ .

**Turg'un va turg'unmas (noturg'un) oqimlar.** Suyuqlik harakat qonuniyatlariga qarab turg'un va noturg'un oqimlar bo'ladi.

Suyuqlik oqimining turg'un harakati davrida vaqt o'tishi bilan suyuqlik zarrachalarining tezligi va boshqa omillar (bosim, zichlik, temperatura va hokazolar) o'zgarmaydi ( $dw/d\tau=0$ ,  $dp/d\tau=0$  va hokazo), lekin oqimda kuzatilayotgan nuqta holatiga bog'liq:

$$w = f_1(x, y, z); \quad p = f_2(x, y, z); \quad h = f_3(x, y, z)$$

bu erda  $w$  - suyuqlik tezligi;  $p$  - bosim;  $h$  - oqim chuqurligi.

Turg'unmas harakat davrida tezlik, bosim va oqim chuqurligi koordinata va vaqtga bog'liq bo'ladi:

$$w = f_1(x, y, z, \tau); \quad p = f_2(x, y, z, \tau); \quad h = f_3(x, y, z, \tau)$$

Oqimlarning turg'un harakati uzluksiz, noturg'un esa - davriy jarayonlar uchun xarakterlidir.

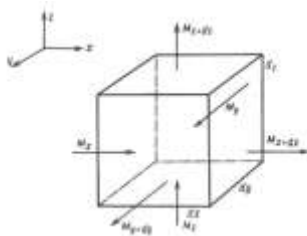
Turg'un harakat ikki xil bo'ladi: tekis va notekis.

Oqim uzunligi bo'yicha uning tezligi, bosimi, chuqurligi va shakli o'zgarmasa, suyuqlikning harakati tekis, lekin bularning aksi bo'lsa – notekis harakati sodir bo'ladi.

Oqim o'rtasida (o'qida) suyuqlik harakatining tezligi maksimal, devor atrofidagi oqimchalarda esa - minimal bo'ladi. Oqimda tezliklar taqsimlanishi suyuqlik harakat rejimlariga bog'liq.

## 2. Oqimning uzluksizlik tenglamasi

Uzluksiz harakat qilayotgan sharoitda suyuqlik oqimidagi tezliklar orasidagi bog'liqlikni ko'rib chiqamiz.



**1-rasm. Suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid.**

Buning uchun oqimdan hajmi  $dV = dx, dy, dz$  bo'lgan elementar parallelepipedni ajratib olamiz (1-rasm).

$x$  o'qi bo'ylab harakat tezligining tashkil qilgan  $w_x$  deb belgilaymiz. Unda, parallelepipedning  $dy \cdot dz$  chap tomonidan cheksiz qisqa vaqt ichida unga quyidagi miqdorda suyuqlik kiradi:

$$M_x = \rho w_x \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

bu erda  $\rho$  - suyuqlik zichligi.

Suyuqlik umuman siqilmaydi degan tahminni qabul qilamiz. Unda, suyuqlik zichligi  $\rho$  o'zgarmas bo'ladi.

Parallelepipedning qarama-qarshi tomonida

suyuqlikning tezligi  $\frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$  qiymatga farq qiladi va quyidagiga teng bo'ladi:

$$w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$$

O'ng tomondan  $d\tau$  vaqt ichida oqib chiqqan suyuqlik miqdori quyidagiga teng:

$$M_{x+dx} = \rho \left( w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Parallelepipedda ortib borayotgan massa miqdori

$$dM_x = M_x - M_{x+dx} = -\rho \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

ga teng bo'ladi.

$u$  va  $z$  o'qlari bo'ylab, suyuqlik massasining o'zgarishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dM_y = -\rho \frac{\partial w_y}{\partial y} \cdot dy \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau$$

$$dM_z = -\rho \frac{\partial w_z}{\partial z} \cdot dz \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau$$

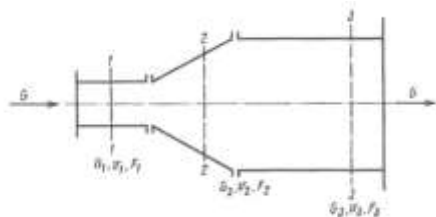
Parallelepipedda  $d\tau$  vaqt birligi ichida suyuqlik massasi umumiy miqdorining o'zgarishi koordinata o'qlari bo'ylab, uning o'zgarishlari yig'indisiga teng:

$$dM = dM_x + dM_y + dM_z = -\rho \cdot \left( \frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Agar,  $\rho = \text{const}$  bo'lganda, parallelepiped ichidagi suyuqlik massasi o'zgarmas bo'lishi kerak. Demak, massaning umumiy o'zgarishi  $dM=0$  yoki

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

yoki  $\text{div} \mathbf{w} = 0$ , bu erda  $\frac{\partial w_x}{\partial x}, \frac{\partial w_y}{\partial y}, \frac{\partial w_z}{\partial z}$  —  $x, y, z$  o'qlari yo'nalishida tezliklarning o'zgarishi. Ushbu tenglama siqilmaydigan suyuqlik oqimi uzluksizligining differensial tenglamasi.



**2-rasm. Suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqarishga oid**

(6) tenglamani integrallagandan keyin, suyuqlikning turg'un harakati paytida truba quvurining har bir ko'ndalang kesimidan vaqt birligida bir xil miqdorda suyuqlik oqib o'tadi (2-rasm).

$$G_1 = G_2 = G_3 = \dots = \text{const} \quad (7)$$

bu erda  $G$  - massaviy sarf, kg/s;  $G = \rho w F$ .

Tomchili, siqilmaydigan suyuqliklar uchun  $\rho = \text{const}$  bo'lgani uchun (7) tenglama ushbu ko'rinishni oladi:

$$w_1 F_1 = w_2 F_2 = w_3 F_3 = \text{const} \quad (8)$$

(8) tenglamadan ko'rinib turibdiki, tomchili suyuqlik harakatining tezligi trubaning ko'ndalang kesim yuzasiga teskari proporsionaldir:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

Shunday qilib, (8) tenglama massa saqlanish qonunining xususiy holi bo'lib, suyuqlik oqimining moddiy balansini ifodalaydi.

Agar, suyuqlik tarkibida havo yoki suv bug'i, yoki havo bo'shliqlari paydo bo'lsa, oqim

uzluksizligi buziladi.

### 3. Suyuqlik harakatining Eyler differensial tenglamasi

Oqimning istalgan nuqtasida suyuqlik harakatining tezligi va bosim orasidagi bog'liqlikni L. Eylerning harakat tenglamasi yordamida ifodalash mumkin.

Ushbu tenglamani keltirib chiqarish uchun turg'un harakat qilayotgan ideal suyuqlik oqimidan  $dV = dx dy dz$  hajmli elementar parallelepiped ajratib olamiz (3-rasm).

Parallelepipedga ta'sir etuvchi og'irlik va bosim kuchlarining koordinat o'qlaridagi proekstiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$x \text{ o'qiga} \quad -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$$

$$y \text{ o'qiga} \quad -\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$$

$$z \text{ o'qiga} \quad -\frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz$$

Dinamikaning asosiy prinsipiga binoan, harakatdagi elementar suyuqlik hajmiga ta'sir etuvchi hamma kuchlar proekstiyalarining yig'indisi suyuqlik massasini uning tezlanishi ko'paytmasiga teng.

Parallelepiped hajmidagi suyuqlik massasi:

$$dm = \rho dx dy dz$$

Agar, elementar zarracha tezligi  $w$ , uning tezlanishi  $dw/d\tau$  bo'lsa, tezlanishning koordinatlar o'qidagi proekstiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{dw_x}{d\tau}; \quad \frac{dw_y}{d\tau}; \quad \frac{dw_z}{d\tau}.$$

bu erda  $w_x, w_y, w_z$  —  $x, y, z$  o'qlardagi tezliklar.

Koordinata o'qlariga nisbatan tezlanishning proekstiyalari  $\partial w_x / d\tau$ ,  $\partial w_y / d\tau$  va  $\partial w_z / d\tau$  bo'ladi.

Suyuqlik oqimi turg'un harakat qilayotgani sababli  $\partial w_x / d\tau = 0$ ;  $\partial w_y / d\tau = 0$ ;  $\partial w_z / d\tau = 0$ .

Bunda, tezlikning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi, fazoda olingan nuqta tezligining o'zgarishini emas, balki suyuqlik elementar zarrachasining fazoda bir nuqtadan ikkinchisiga o'tganda  $x, u$  va  $z$  o'qlarga mos keladigan tezlik miqdori  $w_x, w_y$  va  $w_z$  larning o'zgarishini ko'rsatadi. Dinamikaning asosiy prinsipiga binoan:

$$\rho dx dy dz \frac{dw_x}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$$

$$\rho dx dy dz \frac{dw_y}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$$

$$\rho dx dy dz \frac{dw_z}{d\tau} = -\left(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z}\right) dx dy dz$$

Qisqartirishlardan so'ng esa, ushbu tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Bu tenglamalar sistemasi turg'un oqimlar uchun ideal suyuqliklar harakatini ifodalovchi Eylerning

differenstial tenglamasi.

#### 4. Haqiqiy suyuqlik oqimi uchun Bernulli tenglamasi

Turg'un oqimlar uchun Eylerning differenstial tenglamalar sistemasini echish gidrodinamikada katta ahamiyatga ega va juda ko'p ishlatiladigan Bernulli tenglamasini olish imkonini beradi.

Agar, (9) tenglamalar sistemasining chap va o'ng tomonlarini  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  larga ko'paytirib va suyuqlik zichligi  $\rho$  ga bo'lsak, ushbu ifodalarni olamiz:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{d\tau} \cdot dw_x &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} dx \\ \frac{dy}{d\tau} \cdot dw_y &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} dy \\ \frac{dz}{d\tau} \cdot dw_z &= -gdz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} dz\end{aligned}\quad (10)$$

(10) tenglamalar sistemasidagi  $dx/d\tau$ ,  $dy/d\tau$  va  $dz/d\tau$  nisbatlar tegishli koordinata o'qlaridagi  $w_x$ ,  $w_y$  va  $w_z$  tezliklarning o'zgarishini ifodalaydi. Ushbu nisbatlarni tezlik orqali ifodalab, o'z o'rniga qo'ysak:

$$w_x dw_x + w_y dw_y + w_z dw_z = -gdz - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right)$$

Tenglamaning chap tomonidagi qo'shiluvchilar quyidagi ko'rinishda ifodalanishi mumkin:

$$w_x dw_x = d\left(\frac{w_x^2}{2}\right); \quad w_y dw_y = d\left(\frac{w_y^2}{2}\right); \quad w_z dw_z = d\left(\frac{w_z^2}{2}\right).$$

Ularning yig'indisi esa,

$$d\left(\frac{w_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_z^2}{2}\right) = d \cdot \left(\frac{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}{2}\right) = d\left(\frac{w^2}{2}\right)$$

bu erda  $w = |\mathbf{w}|$  - tezlik vektorining kattaligi bo'lib,  $w_x$ ,  $w_y$  va  $w_z$  o'qlari uchun o'z qiymatiga ega.

Tenglamaning o'ng tomonidagi ifoda bosimning to'la differenstiali  $d\mathbf{r}$  ga teng. Turg'un oqimlar uchun bosim fazodagi nuqta holatiga bog'liq bo'lib, istalgan nuqta uchun vaqt birligida o'zgarmaydi.

Demak,

$$d\left(\frac{w^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - gdz$$

Ushbu tenglamaning ikkala tomonini erkin tushish tezlanishi  $g$  ga bo'lsak va hamma ifodalarni chap tomonga o'tkazsak, quyidagi ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$d \cdot \left(\frac{w^2}{2g}\right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0 \quad (11)$$

Bir jinsli, siqilmaydigan suyuqliklar uchun  $\rho = \text{const}$ .

Tenglamadagi differenstiallar yig'indisini yig'indilar differenstiali bilan almashtirilishi mumkin, ya'ni:

$$d\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right) = 0$$

bu erda

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g} = \text{const} \quad (12)$$

Ushbu ko'rinishdagi ifoda ideal suyuqliklar uchun **Bernulli tenglamasi** deyiladi.  $\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right)$  kattalikka **to'liq gidrodinamik napor** yoki **gidrodinamik napor** deb nomlanadi.

Bernulli tenglamasiga binoan, ideal suyuqliklarning turg'un harakatida geometrik, statik va dinamik naporlar yig'indisi umumiy gidrodinamik naporga teng bo'lib, oqim bir trubadan ikkinchisiga o'tganda ham o'zgarmaydi.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (13)$$

Bernulli tenglamasi energiya saqlanish qonunining xususiy holi bo'lib, oqimning energetik balansini xarakterlaydi.  $z$  - nivelir balandlik yoki geometrik napor ( $h_g, m$ ) deb ataladi va nuqta holatining solishtirma potentsial energiyasini ifodalaydi.  $\frac{p}{\rho g}$  - bosim nabori yoki pezometrik napor ( $h_c, m$ ) deb nomlanadi va bosimning solishtirma potentsial energiyasini ifodalaydi.

$\left(z + \frac{p}{\rho g}\right)$  yig'indi to'liq gidrostatik yoki statik napor ( $h_{st}, m$ ) deyiladi va ushbu nuqtadagi to'liq solishtirma potentsial energiyani ifodalaydi.

$\frac{w^2}{2g}$  - tezlik yoki dinamik napor ( $h_d, m$ ) deb nomlanadi va u ushbu nuqtadagi solishtirma kinetik energiyani xarakterlaydi.

Demak, turg'un xarakterdagi suyuqlik uchun potentsial  $\left(z + \frac{p}{\rho g}\right)$  va kinetik  $\left(\frac{w^2}{2g}\right)$  energiyalar yig'indisi oqimning istalgan ko'ndalang kesimida o'zgarmas qiymatga ega.

Ma'lumki, haqiqiy (real) suyuqliklarda ichki ishqalanish kuchlari mavjud bo'lib, ular truba yoki kanallarda harakat qilganda, bir qism napor bu kuchni engishga sarf etiladi.

Haqiqiy suyuqliklar uchun Bernulli tenglamasi ushbu ko'rinishda yoziladi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_u \quad (14)$$

yoki

$$h_z + h_c + h_g + h_u = H$$

bu erda  $h_i$  - ishqalanish kuchini engish uchun sarflangan napor.

Agar, suyuqlik gorizontaal trubada harakat qilayotgan bo'lsa, unda geometrik napor nolga teng bo'ladi, ya'ni  $h_g=0$ . Unda

$$h_c + h_d + h_u = H \quad (15)$$

Shunday qilib, Bernulli tenglamasi energiya saqlanish qonunining xususiy holi bo'lib, oqimning energetik balansini ifodalaydi.

#### 4. Suyuqlik harakatining Nave-Stoks differentsial tenglamasi

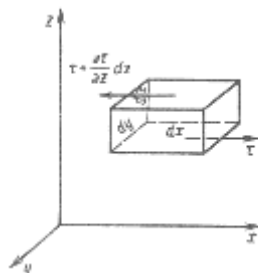
Suyuqlik oqimi harakatining Nave-Stoks differentsial tenglamasi 1845 yili keltirib chiqarilgan.

Bu tenglamani keltirib chiqarish uchun quyidagi tahminlar qabul qilinadi: suyuqlik siqilmaydi va kengaymaydi.

Qovushoq, haqiqiy (haqiqiy) suyuqliklar harakatida oqim zarrachalariga og'irlik va gidrostatik kuchlardan tashqari, ishqalanish kuchlar ta'sirini topish uchun harakatdagi haqiqiy suyuqlik oqimida cheksiz kichik parallelepiped shaklidagi elementar zarracha ajratib olamiz (2.7-rasm). Ishqalanish kuchlari parallelepipedning ustki va pastki tomonlari  $dF = dx \cdot dy$  yuzalariga urinma bo'ylab, ta'sir etmoqda.

Agar parallelepiped pastki tomonida urinma bo'ylab kuchlanish  $\tau$  bo'lsa, ustki tomonida esa:





**3-rasm. Nave-Stoks tenglamasini keltirib chiqarishga oid.**

$$\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz$$

bu erda  $\frac{\partial \tau}{\partial z} dz$  parallelepiped  $z$  o'qidagi pastki tomon urinma kuchlanishining o'zgarishini ifodalaydi.

$x$  o'qiga ta'sir etuvchi ishqalanish kuchlarining proekstiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\tau dx dy - \left( \tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz \right) dx dy = - \frac{\partial \tau}{\partial z} dx dy dz$$

Ushbu tenglamaga urinma kuchlanishi

$\tau = \mu \frac{\partial w_x}{\partial z}$  ni qo'ysak, quyidagicha ko'rinishga ega bo'lamiz:

$$\mu \frac{\partial \left( \frac{\partial w_x}{\partial z} \right)}{\partial z} dx dy dz = \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} dx dy dz$$

Umumiy holatda, agar uch o'lchovli oqim  $w_x$  tezligining tashkil etuvchisi faqat  $z$  o'qi yo'nalishida emas, balki koordinataning hamma uch o'qi yo'nalishida o'zgaradi. Unda  $x$  o'qiga bir xil ta'sir etuvchi ishqalanish kuchlarining proekstiyasi ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$\mu \left( \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) dx dy dz$$

Koordinata o'qlari bo'ylab ikkinchi hosilalar yig'indisi Laplas operatori deb nomlanadi:

$$\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} = \nabla^2 w_x \quad (16)$$

Cheksiz kichik elementar parallelepiped shakldagi zarrachaga ta'sir etuvchi og'irlik, gidrostatik va ishqalanish kuchlari proekstiyalarining yig'indisi dinamikaning asosiy prinsipiga binoan quyidagiga teng:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

(17) tenglamalar sistemasida  $\rho g$  -og'irlik kuchi,  $\partial p / \partial x$ ,  $\partial p / \partial y$ ,  $\partial p / \partial z$  - gidrostatik bosim o'zgarishi Laplas operatorini  $\mu$  ga ko'paytmasi – ishqalanish kuchlarining suyuqlik oqimiga ta'sirini xarakterlaydi. Tenglamalar sistemasining chap tomonlari inerstiya kuchlarining ta'sirini ifodalaydi.

Keltirib chiqarilgan 17) tenglamalar sistemasi trubada oqayotgan haqiqiy suyuqlik oqimining turg'un harakatini ifodalovchi Eyler differentsial tenglamasi deyiladi.

(17) dagi  $\mu = 0$  bo'lganda, ideal suyuqlik oqimlarining turg'un harakatini ifodalovchi Eylerning differentsial tenglamasini olish mumkin.

Haqiqiy suyuqlik harakatini to'la ifodalash uchun tenglamalar sistemasini keltirib chiqarishda suyuqlikning siqiluvchanligi va temperatura ta'sirida kengayishini, hamda oqimning uzluksizligini hisobga olish zarur.

Lekin, matematik ifoda murakkabligi uchun umumiy ko'rinishdagi Nave-Stoks differentsial tenglamalar sistemasini echish qiyin. Shuning uchun ushbu tenglamalar sistemasi ayrim xususiy hollar uchungina echilgan. Buning uchun, bu differentsial tenglamalardan o'xshashlik nazariyasi asosida bir qator o'xshashlik kriteriylari keltirib chiqariladi. Olingan kriteriylar jarayonlarni hisoblashda ishlatiladi.

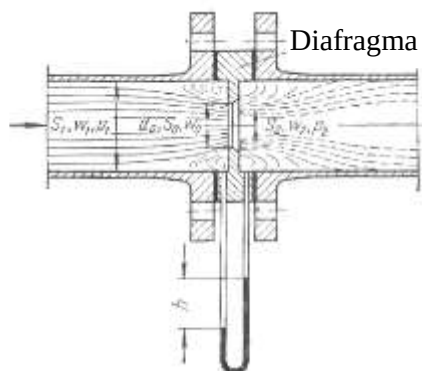
## 5. Bernulli tenglamasining amaliy qo'llanilishi

Kimyo va oziq-ovqat sanoatlarida suyuqliklar tezligi, sarfi va teshiklardan oqib chiqishini aniqlashda Bernulli tenglamasidan keng ko'lamda foydalaniladi.

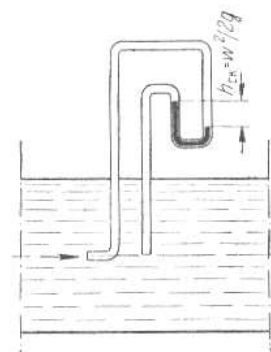
**Suyuqlik tezligi va sarfini o'lchash prinsiplari.** Sanoatda va ilmiy tadqiqotlarda suyuqlik tezligi va sarfini o'lchash uchun drossel asboblari va pnevmometrik trubalar ishlatiladi.

Pito-Prandtl pnevmometrik trubkasining tuzilishi 2.8-rasmda ko'rsatilgan.

Trubkalarining har bir ko'ndalang kesimida suyuqlik sathlarining farqi, uning o'qidagi nuqtaning tezlik nabori  $h_t$  ni ifodalaydi. Trubkalardagi ishchi suyuqlik sathlarini U-simon differensial manometr yordamida o'lchash qulay. U-simon difmanometr ichidagi suyuqlik ishchi suyuqlik bilan aralashmaydi va uning zichligi ishchi suyuqlikidan ancha katta bo'ladi.



4-rasm. O'lchov diafragmasi



5-rasm. Pnevmetrik trubka yordamida suyuqlik tezligini o'lchash.

Agar, trubadagi suyuqlik biror tezlikka ega bo'lsa, U-simon difmanometrda suyuqlik  $h$  balandlikka ko'tarilishi dinamik nabori ko'rsatadi, ya'ni

$$h_o = \frac{w^2}{2g}$$

Dinamik nabor qiymatidan tezlikni topish mumkin:

$$w = \sqrt{2gh} \quad (18)$$

Pito-Prandtl trubkasining oqimi yo'nalishida bo'lishi, suyuqlik tezligining umumiy taqsimlanishiga ta'sir etadi. Shuning uchun formulaga tegishli tuzatish koeffitsienti kiritiladi:

$$w = \alpha \sqrt{2gh} \quad (19)$$

Formuladagi  $\alpha$  sarf koeffitsientining qiymati har bir o'lchov asbobi va pnevmometrik trubkalar uchun tajriba yo'li bilan aniqlanadi. Uning qiymati Reynolds kriteriysi va drossel asbobi diametri  $d_0$  ning truba diametri  $d_1$  nisbatiga bog'liqdir:

$$\alpha = f\left(\text{Re}, \frac{d_0}{d_1}\right)$$

Suyuqlik sarfi esa sekundli sarf tenglamasidan topiladi:

$$V = wF$$

Bu usulda suyuqlik tezligi va sarfini aniqlash oson, lekin pnevmometrik trubkani truba quvurining o'qiga o'rnatish qiyinligi uchun yuqori aniqlikka erishib bo'lmaydi.

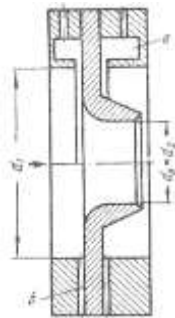
Shuning uchun xalq xo'jaligining turli sohalarida suyuqlik va tezlikni o'lchash uchun drossel asboblari qo'llaniladi.

Bu asboblarning ishlash prinsipi trubalarning ko'ndalang kesimi o'zgarishi bilan dinamik bosimlar

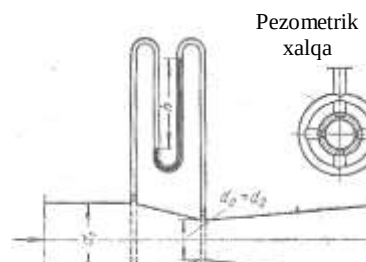
farqining o'zgarishiga asoslangan. Drossel asboblari sifatida o'lchov diafragmasi, soplosi va Venturi trubalari ishlatilishi mumkin.

O'lchov diafragmasi yupqa diskdan yasaladi va o'rtasida dumaloq ko'ndalang kesimli teshik bo'ladi (4-rasm).

O'lchov soplosi nasadka bo'lib, kirish qismi asta-sekin torayib boradigan qayilishdan va chiqish qismi-stilindrik shaklga ega. *U*-simon differentsial manometr halqasimon *a* yoki *b* kanallarga ulanadi (5-rasm).



6-rasm O'lchov soplosi.



7- rasm. Venturi trubasi

Venturi trubasida o'lchovchi diafragma va soplolarga nisbatan napor va bosimning yo'qotilishi kam bo'ladi (2.11-rasm). Bunga sabab, Venturi trubasida diametr *d* asta-sekin torayib, keyin esa asta-sekin kengayib, dastlabki holati *d* o'lchamiga qaytishdir. Lekin, bu asbobning kamchiligi shundaki, uning uzunligi juda katta. Bu esa, uning sanoatda keng qo'llanilishini ma'lum miqdorda cheklaydi.