

HIDRAVLİKA

Hidravlika elmi və onun mexanikada rolu

Hidravlika mayələrin hərəkət və müvazinət qanunlarından və bu qanunların təcrübəyə tətbiqindən bəhs edir. Hidravlika iki hissədən ibarətdir: *hidrostatika* və *hidrodinamika*.

Hidrostatika mayələrin müvazinət qanunlarından və bu qanunların təcrübəyə tətbiqindən, **hidrodinamika** isə mayələrin hərəkət qanunlarından və bu qanunların təcrübəyə tətbiqindən bəhs edir.

Hidravlika fizika, riyaziyyat, nəzəri mexanika və başqa elmlərlə sıx əlaqədədir. Hidravlika qədim bir elmdir. Ondan ilk elmi əsər Arximed tərəfindən yazılmışdır (Arximed qanunu). Arximeddən sonra XVII əsrə qədər hidravlikadan hec bir elmi əsər meydana gəlməmişdir. Sonralar Torriçellinin, Paskalın, Nyutonun və başqalarının elmi işləri meydana çıxmışdır. Hidravlikanın bir elm şəklinə düşməsinə səbəb Lomonosovun, Eylerin, Bernullinin elmi işləri olmuşdur. Hidravlikanın inkişafında çox alimlərin böyük rolu olmuşdur. Onlardan Jukovskinin, Petrovun, Leybenzonun, Pavlovskinin, Şuxovun, və başqalarının elmi işlərini göstərmək olar.

Xarici alimlərdən Reynoldsu, Şezini, Veysbaxı, Darsini, Prandtl və başqalarını göstərmək olar. Azərbaycanda maşınqayırma, metallurgiya, energetika, nəqliyyat və neft hidravlikası sahəsində apıcı mütəxəssislər böyük rol oynayır. Neft hidravlikası sahəsində akademik A. Mirzəcanzadənin apdığı tədqiqatlar xüsusi yer tutur.

Mayələrin fiziki xassələrindən qısa məlumat

Mayələr bərk cisimlərlə qazlar arasında aralıq bir vəziyyət tutur. Onlar yüksək temperaturda özlərini qazlar kimi aşağı temperaturda isə bərk cisimlər aparırlar.

Maye hissəcikləri arasındakı ilişmə qüvvəsi bərk cisimlərə nisbətən az, qazlara nisbətən çoxdur. Mayələr kiçik bir qüvvə təsiri altında hissələrinə parçalanmayaraq hərəkət edirlər. Yəni, mayələr axma qabiliyyətinə malikdirlər. Bərk cisimlərdən fərqli olaraq mayələr müəyyən bir formaya malik olurlar, onlar yerləşdiyi qabın formasını alırlar. Qazlardan fərqli olaraq mayələr praktiki olaraq sıxılırlar. Mayələr toxunan qüvvələrinə qarşı müqavimət göstərilir. Bunun nəticəsində mayenin özlülüyü meydana çıxır.

Mayələr əsasən iki yerə bölünürlər:

- 1) ağır damcılı mayələr (su, neft, neft məhsulları);
- 2) qazvari mayələr (hava və qazlar).

Səs sürətinə qədər olan hərəkətlərdə qazlar hidravlika qanunlarına tabe olurlar. Mayələrin bir necə fiziki xassəsini nəzərdən keçirək.

1) *Mayələrin xüsusi çəkisi və ya həcm çəkisi:*

Vahid həcmə çəkisinə **həcm çəkisi** deyilir.

$$\gamma = \frac{G}{V}, \quad \left(\frac{N}{m^3} \right) \quad (1)$$

γ - xüsusi çəki; G - çəki; V - həcm.

4°C temperaturda saf suyun xüsusi çəkisi

$$\gamma = 100 \text{ kQ/m}^3 \approx 1000 \frac{N}{m^3}.$$

2) *Mayələrin sıxlığı.*

Vahid həcmə kütləsinə **sıxlıq** deyilir.

$$\rho = \frac{m}{W}, \quad \left(\frac{kq}{m^3} \right) \quad (2)$$

20⁰S temperaturda suyun sıxlığı $\rho = 1000 \text{ kq/m}^3$.

Xüsusi çəki ilə sıxlıq arasında aşağıdakı kimi əlaqə vardır.

$$G = mg, \quad \left(\frac{kq \cdot m}{san^2}, N \right) \quad (3)$$

(3)-ün hər tərəfini həcmə (V) bölsək,

$$\frac{G}{V} = \frac{m}{V} g \quad \text{və ya} \quad \gamma = \rho g \quad (4)$$

ρ - mayelər üçün sabit kəmiyyətdir; g - ölçülən yerdən asılı olaraq dəyişdiyi üçün γ dəyişən kəmiyyətdir. Lakin mühəndisi hesabatlarda γ -nı da sabit götürmək olar. ρ və γ -nı təcrübə yolu ilə tapırlar. Bunun üçün piknometr və aerometrdən istifadə edilir.

3) Nisbi xüsusi çəki.

Hər hansı bir mayenin həcm çəkisinin suyun həcm çəkisinə **nisbi xüsusi çəki** deyilir və aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\delta = \frac{\gamma_m}{\gamma_{su}}, \quad (5)$$

su üçün $\delta_{su} = 1$; civə üçün $\delta_{su} = 13.6$; benzin üçün $\delta_{su} = 0.7$.

Deməli, nisbi xüsusi çəki mayenin sudan nə qədər ağır və ya yüngül olduğunu göstərmək kəmiyyətdir.

4) Həcmi sıxılma əmsalı

Təzyiq artdıqca cisimlərin həcmi sıxılır. Bu da həcmi sıxılma əmsalı ilə xarakterizə olunur.

$$\beta_v = -\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta P}, \quad \left(\frac{1}{atm}, \frac{1}{Pa} \right) \quad (6)$$

Mənfi işarəsi onu göstərir ki, təzyiq artdıqca həcm azalır.

Təzyiqin ölçü vahidi $1 \frac{kq}{sm^2} = 1atm$, $1 \frac{N}{m^2} = 1Pa$

Su üçün $\beta_v = \frac{1}{20000}, \frac{1}{atm} = \frac{1}{2 \cdot 10^9}, \frac{1}{Pa}$.

Deməli, 1 atm. təzyiq artdıqda, həcm əvvəlki həcm $\frac{1}{20000}$ biri qədər azalır.

Həcmi sıxılma əmsalının tərs qiymətinə, yəni

$$E_0 = \frac{1}{\beta_v} - \text{mayenin elastiklik modulu adlanır.}$$

5) Həcmi genişlənmə əmsalı.

Temperatura artdıqca cisimlərin həcmi genişlənir. Bu da həcmi genişlənmə əmsalı ilə xarakterizə olunur

$$\beta_T = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}, \quad (1/dər) \quad (7)$$

Su üçün $\beta_v = 0,00015$, $(1/dər)$.

β_T -nin β_V -nin qiymətlərindən görünür ki, təzyiq və temperaturun dəyişməsinin mayenin həcmnin dəyişməsinə çox az təsir edir. Odur ki, mayeləri sıxılmayan hesab etmək olar.

Mayelərin özlülüyü

Mayenin daxili sürtünmə qüvvələrinə qarşı müqavimət göstərmə qabiliyyətinə **özlülük** deyilir.

Özlülük hərəkət zamanı meydana çıxır. Özlülüğü izah etmək üçün maye axını içərisində iki metal lövhə götürək. Lövhələrin arasındakı məsafə h olsun.

Birinci lövhəyə T qüvvəsi tətbiq edib onu U sürətilə hərəkət etdirək. Bilavasitə həmin lövhə üzərində olan hissəciyin sürəti U olacaq.

İkinci lövhə hərəkət etmir. Onda həmin lövhə üzərində olan maye lövhə hissəciyin sürəti 0 olacaq. Onda iki lövhə arasında qalan maye hissəciklərinin sürəti $U-0$ -a kimi azalacaq.

Elementar dh məsafəsinə elementar dU sürətlər fərqi yaranacaq. 1 təbəqə digərinə görə sürüşəcək və daxili sürtünmə qüvvəsi əmələ gələcək.

Tətbiq olunan T qüvvəsi həmin daxili sürtünmə qüvvəsinin dəf olunmasına sərf olunacaqdır.

Nyutona görə tam daxili sürtünmə qüvvəsi (T) sürtünən maye təbəqələrinin sürtünmə səthi (S) və sürtünmə fərqi (dU) ilə düz, təbəqələr arasındakı məsafə (dh) tərs mütənasibdir. Yəni

$$T = \mu S \frac{dU}{dh},$$

μ - mütənasiblik əmsalı mayenin fiziki xassələrindən asılıdır. Ona **dinamik özlülük** əmsalı deyilir.

Toxunan gərginlik

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{du}{dh}.$$

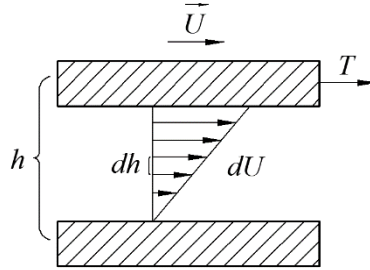
$$\frac{du}{dh} = 1 \quad \text{olsa} \quad \mu = \tau \text{ olar.}$$

Deməli, dinamik özlülük vahid sürət qradientində toxunan qüvvənin gərginliyinə bərabərdir. Yəni dinamik özlülük müəyyən mənada gərginlikdir. Bu da özlülüğün fiziki mənasıdır. Ölçü vahidini tapaq

$$[\mu] = \frac{[\tau]}{\left[\frac{du}{dh}\right]} = \frac{\frac{kq}{m^2}}{\frac{m}{san \cdot m}} = \frac{kq \cdot san}{m^2} (T)$$

$$\text{BS-qə} \quad \frac{H}{m^2} san = Pa \cdot san.$$

$$\text{F.V.S-də} \quad 1 \frac{dn \cdot san}{sm^2} = 1 \frac{qr}{sm \cdot san} = 1P \text{ (puaz).}$$



Şəkil

$$1Pa \cdot san = 0,102 \frac{kq \cdot san}{m^2} = 10 P.$$

4°C temperaturda saf suyun dinamik özlülüüyü

$$\mu = 0,01 P = 0,001 Pa \cdot san.$$

Dinamik özlülüüyün sıxlığa olan nisbətində **kinematik özlülük** deyilir.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} 1 \frac{sm^2}{san} = 1 sm \text{ (stoks)}; \frac{m^2}{san}$$

Suyun kinematik özlülüüyü

$$\nu_{su} = 0,01 st.$$

Temperatur artdıqca özlülük azalır. Əgər temperatur 0 ÷ 100 artarsa su üçün özlülük 7 dəfə azalır.

Bundan başqa nisbi özlülük də vardır. Məsələn, Enqlər dərəcəsi. Bu suya görə götürülür. Özlülük ölçən cihazlara **viskozimetr** deyilir. Məsələn, Enqler

viskozimetri, Kepler viskozimetri, Osvald viskozimetri və b.

Elə mayelər də vardır ki, onlar yuxarıdakı Nyuton qanununa tabe olmurlar. Belə mayelərə **qeyri-nyuton mateləri** deyilir. Məsələn, gil, sement məhsulları, kolloid məhlullar. Bu mayelərdə sükunət halındada daxili gərginlik müşahidə olunur. Bu mayelər üçün daxili sürtünmə qanunu aşağıdakı kimi yazılır

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

τ_0 - **axıcılıq başlanğıcı** adlanır. Bəzi məsələlərin həllini asanlaşdırmaq üçün mayenin şzlülüüyü nəzərə alınmır. Belə mayelərə **ideal mayelər** deyilir. Özlülük nəzərə alınmayanda sürtünmə qüvvələri də nəzərə alınmır. Bu da məsələnin həllini asanlaşdırır.

Alınan nəticələr praktikada özünü doğruldur. Hidravlikada ideal maye anlayışından geniş istifadə olunur. Lakin ideal mayelər üçün çıxarılan düsturlar həqiqi mayelərə tətbiq olunduqda onlara müəyyən düzəlişlər olunmalıdır. Bu düzəlişlər əsasən özlülüyə əsasən aparılır.

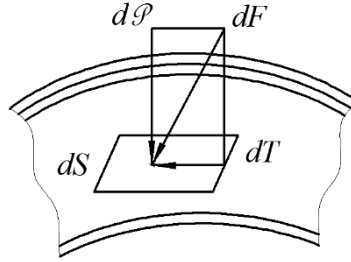
Mayelərə təsir edən qüvvələr

Mayeyə iki cür qüvvə təsir edir:

- 1) Kütləvi qüvvələr. Əgər maye bircinslidirsə bu qüvvələrə həcmi deyilir.
- 2) Səthi qüvvələr – bu qüvvələr mayenin səthinə təsir edir.

Kütləvi qüvvələrin qiyməti mayenin kütlə və həcmindən

asılıdır. Məsələn: ağırlıq qüvvəsi. Səthi qüvvələrin qiyməti təsir etdiyi mayenin səthinin ölçüsündən asılıdır. Məsələn: atmosfer təzyiqi və ya porşenli nasoslarda porşenin mayeyə etdiyi təsir və s. Maye axını götürərək. Maye axını üzərində ΔS səthini ayıraq həmin ΔS səthinə ΔF səthi qüvvəsi təsir edəcəkdir.



Şəkil

Səthi qüvvənin istiqaməti ümumi halda ixtiyaridir. Odur ki, onu iki toplananına ayırmaq olar. Toxunan ΔT və normal ΔP . Toxunan ΔT hərəkət zamanı meydana çıxır. Onu Nyutonun düsturu ilə tapmaq olar.

Normal ΔP qüvvəsinin gərginliyinə **hidromexaniki təzyiq** deyilir.

$$P = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad 1 \frac{kq}{sm^2} = 1 atm; \quad 1 \frac{H}{m^2} = 1 Pa; \quad 1 atm = 10^5 Pa.$$

Əgər maye hərəkətdədirsə hidromexaniki təzyiqə **hidrodinamik təzyiq** deyilir. Əgər maye sükunətdədirsə hidromexaniki təzyiqə **hidrostatik təzyiq** deyilir.

HIDROSTATIKA

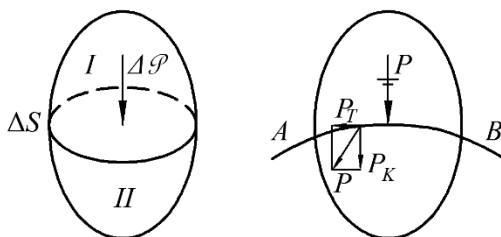
Hidrostatika və onun xüsusiyyətləri

Hidrostatika mayelərin müvazinət qanunlarından və bu qanunların təcrübəyə tətbiqindən bəhs edir. Özlülük hərəkət zamanı meydana çıxdığı üçün hidrostatika bəhsində ideal maye ilə həqiqi mayenin heç bir fərqi yoxdur.

Sıxıcı normal qüvvənin gərginliyinə **hidrostatik təzyiq** deyilir.

$$P = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\Delta S} \quad 1 \text{ atm}, 1 \text{ Pa}.$$

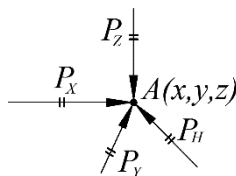
Hidrostatik təzyiqin iki xüsusiyyəti vardır.



Şəkil

I. Hidrostatik təzyiq səthə normal olub mayenin daxilinə doğru təsir edir. Bu xüsusiyyət əksi fərz olunaraq isbat olunur.. Əksi fərz olunanda dartıcı və toxunan qüvvələr meydana çıxır ki, bu da müvazinət şərtinə ziddir.

II. Xüsusiyyət. Hidrostatik təzyiq təsir etdiyi səthin çəhlələrindən asılı olmayıb tətbiiq olunduğu nöqtənin koordinatdan asılıdır



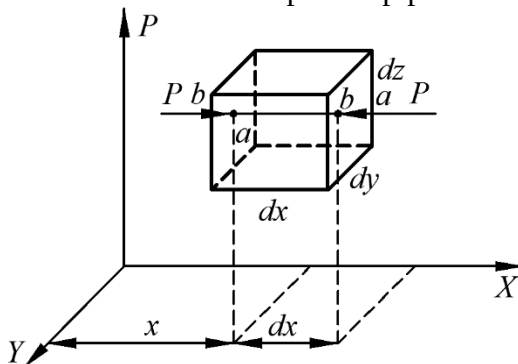
Şəkil

$$P_x = P_y = P_z = P_I \quad \text{və}$$

$$P = f(x, y, z).$$

Hidrostatikanın differensial tənlikləri

Hidrostatikanın differensial tənliklərini çıxarmaq üçün müvazinətdə olan maye içərisində tərəfləri koordinat oxlarına paralel olan elementar paralelepiped həcminə baxaq.



Şəkil

Parallelepiped həcmi qüvvə səthi qüvvələrdən isə təzyiq qüvvəsi təsir edir. Differensial tənlikləri çıxarmaq üçün Dalamber prinsipini tətbiq edirik. Bu prinsipə görə **par-din** müvazinətdə olması üçün ona təsir edən qüvvələrin hər hansı ox üzərindəki proyeksiyalarının cəbri cəmi sıfıra bərabərdir. Qüvvələrin x oxu üzərindəki proyeksiyasını götürək

$$d\mathcal{P}_{ab} - d\mathcal{P}_{a_1b_1} + G_x = 0. \quad (1)$$

$$d\mathcal{P}_{ab} = P \cdot dy \cdot dz. \quad (2)$$

$$d\mathcal{P}_{a_1b_1} = P_1 \cdot dy \cdot dz.$$

Hidrostatik təzyiqin ikinci xüsusiyyətinə görə $P = f(x, y, z)$ olduğu üçün

$$P_1 = f_1(x + dx, y, z) = f(x, y, z) + \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial x} dx = P + \frac{\partial P}{\partial x} dx.$$

$$d\mathcal{P}_{a_1b_1} = \left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx \right) dy dz. \quad (3)$$

G_x - həcmi qüvvənin x oxu üzərindəki proyeksiyasıdır.

Həcmi qüvvənin təcilinin oxlar üzərindəki proyeksiyalarını (X, Y, Z) ilə işarə edək. Bunlar eyni zamanda vahid kütlə üçün olan qüvvənin oxlar üzərindəki proyeksiyasıdır

$$G_x = X \rho dx dy dz. \quad (4)$$

(2), (3), (4)-ü (1)-də yerinə yazaq

$$P dy dz - P dy dz - \frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz + X \rho dx dy dz = 0,$$

$$-\frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz + X \rho dx dy dz = 0.$$

Bu tənliyi vahid kütlə üçün yazaq yəni onun hər həddini $\rho dx dy dz$ -ə bölək

$$X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = 0.$$

Analoji olaraq yazı bilərik

$$\left. \begin{aligned} Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} &= 0, \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Maye müvazinətinin bu differensial tənliklərini Eyler vermişdir. Bu (3) tənliyi (1) tənliklə əvəz etməkdən ötrü, bunların birincisini dx -ə, ikincisini dy -ə, üçüncüsünü isə dz -ə vurub tərəf tərəfə toplayaq

$$X dx + Y dy + Z dz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial x} dx + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) = 0.$$

Hidrostatik təzyiqin ikinci xüsusiyyətinə görə $P = f(x, y, z)$ olduğu üçün mötərizə içərisindəki hədlərin cəmi təzyiqin tam differensialı olacaqdır

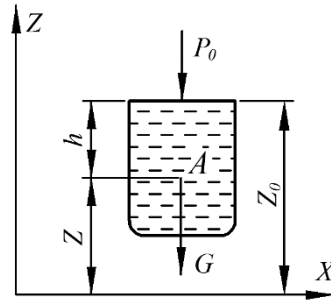
$$dP = \frac{\partial P}{\partial x} dx + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz,$$

$$dP = \rho (X dx + Y dy + Z dz). \quad (6)$$

Hidrostatikanın əsas tənliyi

Maye yalnız öz ağırlıq qüvvəsi altında müvazinətdədir, yəni mayeyə həcmi qüvvələrindən yalnız ağırlıq qüvvəsi təsir edir. Onda həcmi qüvvənin təcilinin oxlar üzərindəki proyeksiyaları aşağıdakı kimi olacaq

$$\left. \begin{aligned} x &= 0, \\ y &= 0, \\ z &= -g. \end{aligned} \right\}$$



Şəkil

Bu qiymətləri (6) differensial tənlikdə yerinə yazaraq

$$dP = -\rho g dz.$$

Bu tənliyi ρ -yıb müvazinətdə olan maye içərisində istənilən nöqtədəki, məsələn A nöqtəsindəki təzyiqi tapmaq

$$\int_{P_0}^P dP = -\rho g \int_{z_0}^z dz = \rho g \int_z^{z_0} dz.$$

$$P - P_0 = \rho g (z_0 - z) = \rho g h.$$

Deməli,

$$P = P_0 + \rho g h.$$

Bu hidrostatikanın əsas tənliyidir.

$\rho g = \gamma$ olduğu üçün

$$P = P_0 + \gamma h.$$

Bu tənliyi araşdıraq.

P – müvazinətdə olan maye içərisində istənilən nöqtədəki tam təzyiqidir; P_0 – mayenin sərbəst səthindəki təzyiqidir.

Bütün nöqtələrində təzyiqi eyni olan səthə **sərbəst səth** deyilir. Yəni, $P = \text{const}$.

Onda $dP = 0$ sərbəst səthin tənliyi olacaq.

Əgər qabın ağzı açıq olarsa sərbəst səthdəki təzyiq atmosfer təzyiqi olacaq. Təzyiq ölçülən nöqtədən sərbəst həddə qədər olan məsafə h -dir.

$$\rho g h = \gamma h = P_{art}$$

artıq təzyiq adlanır. Yəni mayenin çəkisindən yaranır.

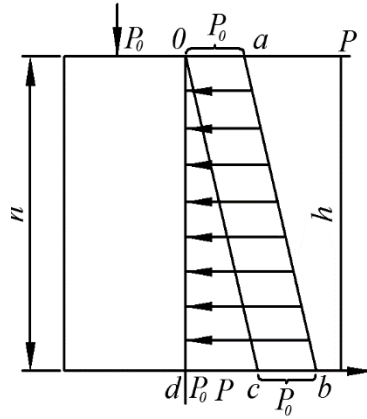
Təzyiqin qrafiki göstərilməsinə **təzyiq epyurası** deyilir. Hidrostatikanın əsas tənliyi bir dərəcəli olduğu üçün onun qrafiki düz xətt olacaqdır.

Deməli qrafikin qurmaq üçün iki nöqtənin tapılması kifayətdir.

$$1) \quad h = 0; \quad P = P_0;$$

$$2) \quad h = h; \quad P = P_0 + \gamma h.$$

$OABD$ tam təzyiq epurası
 $OABC$ sərbəst səthdəki təzyiq epyurası. OCD artıq təzyiqin epyurası.



Şəkil

Paskal qanunu və onun təcübəyə tədqiqi

Qabın ağzında porşen vardır. Porşenin en kəsik sahəsi S -dir. Porşenin $\mathcal{P}$ qüvvəsinin təsirindən porşenin altında yaranan, yəni mayenin sərbəst səthindəki təzyiq

$$P_0 = \frac{\mathcal{P}}{S}.$$

1 və 2 nöqtələrindəki tam təzyiqlər

$$P_1 = P_0 + \gamma h_1, \quad P_2 = P_0 + \gamma h_2.$$

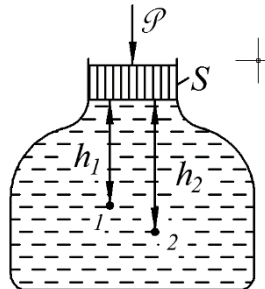
$\mathcal{P}$ təzyiqini $\Delta \mathcal{P}$ qədər aptıraq. Onda sərbəst səthdəki təzyiqdə

$$\Delta P_0 = \frac{\Delta \mathcal{P}}{S}.$$

Qədər artaraq $P_0 + \Delta P_0$ olacaqdır. 1 və 2 nöqtələrindəki tam təzyiqlər isə

$$P_1 = (P_0 + \Delta P_0) + \gamma h_1,$$

$$P_2 = (P_0 + \Delta P_0) + \gamma h_2.$$

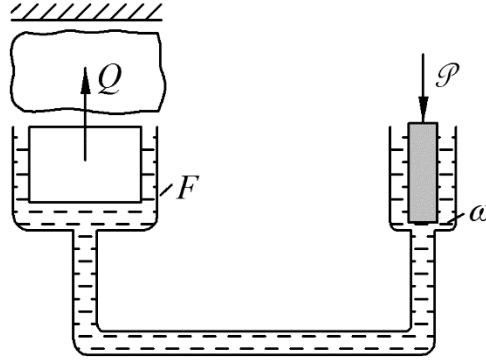


Şəkil

Xaricdən edilən təzyiq mayenin daxilindəki bütün nöqtələrə olduğu kimi verilir. Buna **Paskal prinsipi** (qanunu) deyilir.

Paskal qanunundan.

Hidravlik pres, hidravlik tormoz, hidravlik domkrat, paskal prinsipi ilə işləyir. **Şəkil**də hidravlik presin sxemi göstərilmişdir.



Şəkil

P qüvvəsinin təsirindən birinci porşenin altında yaranan $P = \frac{\mathcal{P}}{\omega}$ təzyiqi.

Paskal qanununa görə olduğu kimi ikinci porşenə verilir.

İkinci porşendə yaranan qüvvə

$$Q = PF = \mathcal{P} \frac{F}{\omega}.$$

Nə qədər $F > \omega$ olsa o qədər də əldə edilən qüvvə çox olacaq. Praktikada əldə edilmiş qüvvə yuxarıdakı düsturla hesablanan qüvvədən az alınır. Presdə sürtünmə qüvvələri yaranır ki, bunu f.i.ə. nəzərə alır

$$Q_{hər} = r \mathcal{P} \frac{F}{\omega}.$$

$\eta = 0,8$ presin faydalı iş əmsalıdır.

Təzyiq ölçən cihazlar

Havanın təzyiqini barometrlə ölçürlər. Barometrlər *mayeli və mexaniki* olur. Artıq təzyiqi pyezometrlə və manometrlə ölçürlər. Odur ki, artıq təzyiqə bəzən **manometrik təzyiq** də deyilir.

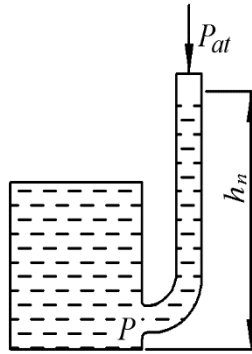
Pyezometr diametri 5-10 mm olan şüşə borulardan hazırlanır. Onun bir tərəfi açıq olur, digər tərəfi isə təzyiq ölçülən yerlə əlaqələndirilir.

$$P = P_{atm} + \gamma h_n,$$

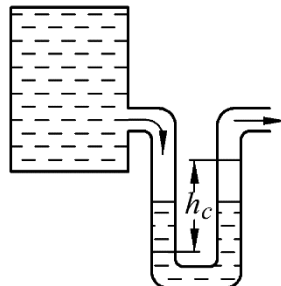
$$h_n = \frac{P - P_{atm}}{\gamma} = \frac{P_{art}}{\gamma}.$$

h_n - **pyezometrik hündürlük** adlanır.

Pyezometrlə 0,3 atm-ə qədər təzyiqləri ölçürlər. Bundan çox olan

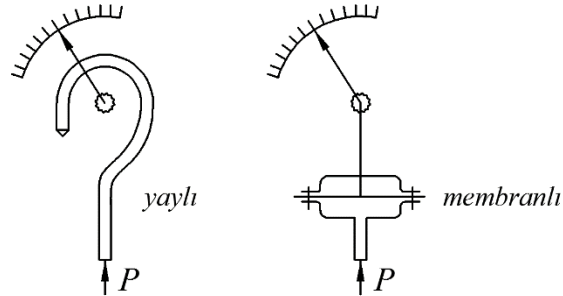


Şəkil



təzyiqləri manometrə ölçürlər. Manometrər iki növ olur: *mayelli* və *mexaniki*.

Mayelli manometrər şüşə borulardan U-şəklində hazırlanır.

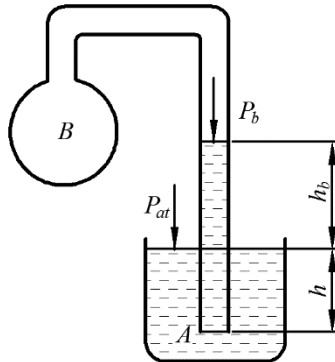


Şəkil

Maye olaraq cıvadən istifadə olunur

$$P_{art} = \gamma_c h_c.$$

Mayeli manometrə 1 atm-ə qədər təzyiqləri ölçürlər. Ondan artıq təzyiqləri mexaniki manometrlərlə ölçürlər. Mexaniki manometrlər iki növ olur: *yaylı* və *membranlı*.



Şəkil

Atmosferadan az olan təzyiqlərə **vakuüm** deyilir. Vakuüm vakuummetrlə ölçülür. Vakuummetrlər mayeli və mexaniki ola bilər

$$P_A = P_{at} + \gamma h,$$

$$P_A = P_B + \gamma(h + h_B),$$

$$P_A + \gamma h = P_B + \gamma h + \gamma h_B,$$

$$h_B = \frac{P_{at} - P_B}{\gamma}.$$

h_B - vakuummetrik hündürlük adlanır.

Monovakuummeterlərdə olur.

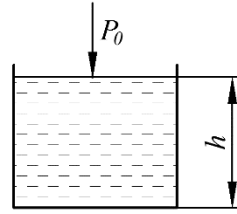
Müstəvi səthlərə düşən təzyiq qüvvəsi

- 1) *Qabın dibinə düşən təzyiq qüvvəsi.*

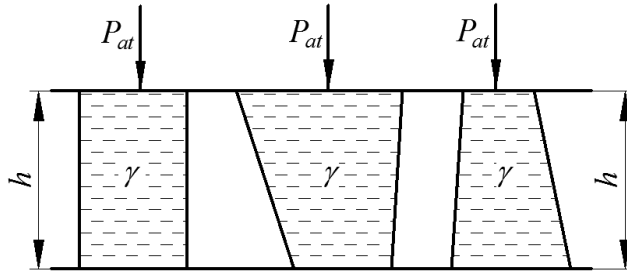
Qabın dibi üfqi və müstəvi şəklindədir. Onda onun oturacağına bütün nöqtələrində təzyiq eyni olacaq. Onda dibin istənilən nöqtəsindəki təzyiqi onun sahəsinə vursaq dibə düşən təzyiq qüvvəsini taparıq

$$\mathcal{P} = P\omega = (P_0 + \gamma h)\omega.$$

Bu qabların hər üçünün oturacağına düşən təzyiq qüvvəsi eyni olacaq.



Şəkil



Şəkil

Təzyiq qüvvəsinin qabın formasından asılı olmamasına **hidrostatik paradoks** deyilir.

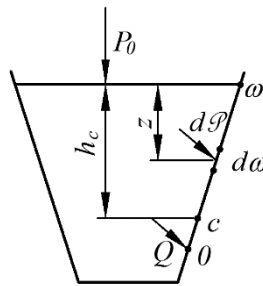
2) Müstəvi divara düşən təzyiq qüvvəsi.

Divar üzərində Z dərinliyində $d\omega$ sahəsi götürək. Həmin sahəyə $d\mathcal{P}$ qüvvəsi təsir edəcək

$$d\mathcal{P} = Pd\omega = (P_0 + \gamma z)d\omega.$$

Bu tənliyi ρ -yıb bütün divara düşən təzyiq qüvvəsini tapaq

$$\mathcal{P} = P_0 \int_{\omega} d\omega + \gamma \int_{\omega} zd\omega.$$



Şəkil

$\int_{\omega} zd\omega = h_c \omega$ - sahəsinin statik momentidir; h_c - divarın ağırlıq mərkəzindən sərbəst səthə qədər olan məsafədir. C nöqtəsi ağırlıq mərkəzidir.

$$\mathcal{P} = P_0 \omega + \gamma h_c \omega = \omega(P_0 + \gamma h_c).$$

$P_0 + \gamma h_c = P_c$ - divarın ağırlıq mərkəzindəki təzyiqdir.

$$\mathcal{P} = P_c \omega.$$

Deməli, müstəvi divara düşən təzyiq qüvvəsi divarın ağırlıq mərkəzindəki təzyiqin onun sahəsinin vurulmasına bərabərdir.

O nöqtəsi təzyiq mərkəzidir.

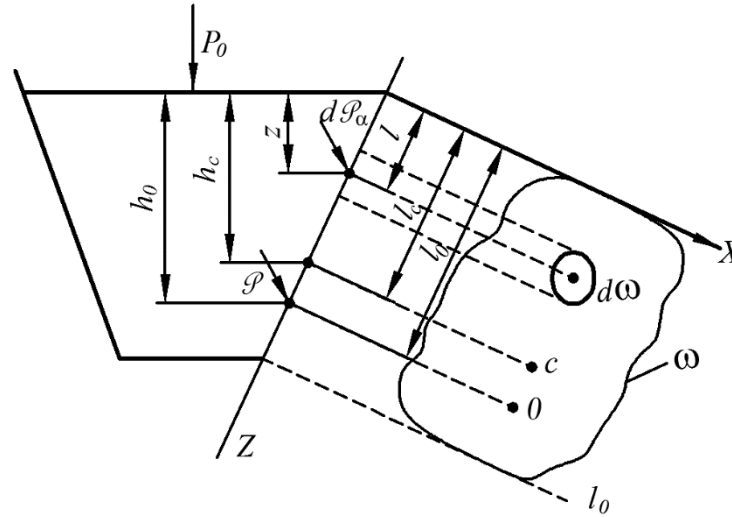
Təzyiq mərkəzi

Təzyiq qüvvəsinin tətbiq nöqtəsinə **təzyiq mərkəzi** deyilir. Təzyiq mərkəzi iki üsul ilə tapılır. Qrafiki və analitik. Təzyiq mərkəzinin qrafiki tapmaq üçün təzyiq epyurasını qurmaq lazımdır. Təzyiq epyurasının mərkəzi təzyiq mərkəzi olacaqdır.

Təzyiq mərkəzini analitik tapmaq üçün təzyiq mərkəzinin koordinatlarını tapmaq lazımdır. Bunun üçün aşağıdakı teoremdən istifadə edək.

Teorem. Əvəzləyici qüvvənin hər hansı bir oxla nəzərən momenti onu təşkil edən elementar qüvvələrin həmin oxla nəzərən momentlərinin cəminə bərabərdir.

$$M = \sum \Delta M . \quad (1)$$



Şəkil

Təzyiq mərkəzini ℓ_0 koordinatının tapmaq üçün x oxuna nəzərən əvəzləyici qüvvənin momentini alaq

$$M = \mathcal{P}\ell_0 = \gamma h_c \omega \ell_0 .$$

Şəkildən yazı bilərik

$$h_c = \ell_c \sin \alpha .$$

$$M = \gamma \sin \alpha \ell_c \omega \ell_0 . \quad (2)$$

Elementar qüvvənin x oxuna nəzərən momenti

$$\Delta M = d\mathcal{P} \cdot \ell = \gamma d\omega \cdot \ell ,$$

$$z = \ell \cdot \sin \alpha ,$$

$$\Delta M = \gamma \cdot \ell^2 \cdot \sin \alpha d\omega .$$

Elementar momentlərin cəmi

$$\sum \Delta M = \gamma \sin \alpha \int_{\omega} \ell^2 d\omega$$

$$\int_{\omega} \ell^2 d\omega = J_x \text{ sahənin } x \text{ oxuna nəzərən ətalət momentidir}$$

$$J_x = J_c + \ell_c^2 \cdot \omega.$$

J_c - sahənin ağırlıq mərkəzindən keçən oxa nəzərən ətalət momentidir. Onda elementar momentlərin cəmi

$$\sum \Delta M = \gamma \sin \alpha (J_c + \ell_c^2 \omega). \quad (3)$$

Teorema görə iki və üç tənliklərinin bərabərləşdirək

$$\gamma \sin \alpha \ell_c \omega \ell_0 = \gamma \sin \alpha (J_c + \ell_c^2 \omega),$$

$$\ell_c \omega \ell_0 = J_c + \ell_c^2 \omega,$$

$$\ell_0 = \frac{\ell_0^2 \omega + J_c}{\omega \ell_c} = \ell_c + \frac{J_c}{\ell_c \omega}.$$

Bu düsturdan görünür ki, $\ell_0 > \ell_c$ yəni təzyiq mərkəzi ağırlıq mərkəzindən aşağıda yerləşir. Üfq səthlərdə ağırlıq mərkəzi ilə təzyiq mərkəzi bir-birinin üzərinə düşür.

Şəkildən yazı bilərik

$$h_0 = \ell_0 \sin \alpha.$$

$\frac{J_c}{\ell_c \omega}$ - **eksentristet** adlanır, yəni iki mərkəz arasındakı məsafə. Hidravlika məlumat

kitablarında təzyiq mərkəzinin koordinatları sahənin formasından asılı olaraq verilir.

Əyri xətti səthlərə düşən təzyiq qüvvəsi

Fərz edək ki, əyri xətti səth silindrik formadadır. Həmin səth üzərində sərbəst səthdən Z dərinliyindən $d\omega$ sahəsi götürək. Həmin sahəyə düşən $d\mathcal{P}$ qüvvəsini iki toplananına ayıraq. Üfq $d\mathcal{P}_x$ şaquli $d\mathcal{P}_z$. Şəkildə $d\omega_x$ və $d\omega_z$ sahəsinin üfq və şaquli proyeksiyalarıdır. $d\mathcal{P}_x$ və $d\mathcal{P}_z$ qüvvələrini tapaq.

$$d\mathcal{P}_x = dP \sin \alpha = \gamma d\omega \sin \alpha = \gamma d\omega_x,$$

$$d\mathcal{P}_z = dP \cos \alpha = \gamma d\omega \cos \alpha = \gamma d\omega_z.$$


$$\mathcal{P}_x = \gamma \int \frac{z d\omega_z}{\omega_z},$$

$$\mathcal{P}_Z = \gamma \int \mathbf{z} d\omega_x.$$

$$\mathcal{P}_X = \gamma \hbar_c \omega_Z.$$
$$P_z = \gamma W.$$
$$\mathcal{P} = \sqrt{\mathcal{P}_x^2 + \mathcal{P}_z^2} \ .$$
$$tg\alpha = \frac{\mathcal{P}_x}{\mathcal{P}_z}$$

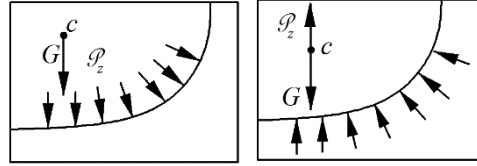
tətbiq nöqtəsi isə qəni təzyiq mərkəzi $\mathcal{P}$ qüvvəsinin əyrixətlə kəsişdiyi O nöqtəsi olacaqdır.

Maye əyrixətli səthin daxilində və xaricində ola bilər.

1) *Maye əyrixətli səthin daxilindədir.* Onda $G = P_z$.

Yəni əyrixətli səthə təsir edən təzyiq qüvvəsinin şaquli toplananı həmin səth ilə əhatə olunmuş mayenin çəkisinə qiymətcə bərabər istiqamətcə eyni olur.

2) *Maye əyrixətli səthin xaricindədir.* $G = -P_z$. Bu hala **fiktiv hal** deyilir.



Şəkil

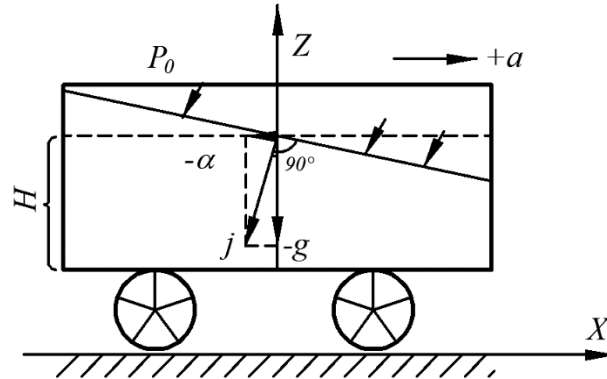
Mayelərin nisbi müvazinəti

Mayenin hissəcikləri biri digərinə görə hərəkət etmir. Maye bütöv bir kütlə şəklində hərəkət edir. Burada maye köçürmə hərəkətində olur. Məsələn: vedrə ilə suyun aparılması, dəmiryol sisternasində və s. Sabit bucaq sürəti ilə fırlanan silindrik qabda mayenin hərəkəti nisbi müvazinətə misal ola bilər.

Nisbi müvazinətdə mayeyə səthi qüvvələrdən təzyiq qüvvəsi, həcmi qüvvələrdən isə ağırlıq qüvvəsi ilə köçürmə hərəkətindəyaranan ətalət qüvvəsi təsir edəcəkdir. Nisbi müvazinətin iki halına baxaq.

1) *Maye + a təcili ilə hərəkət edən dəmiryol sisternsində nisbi müvazinətdədir.*

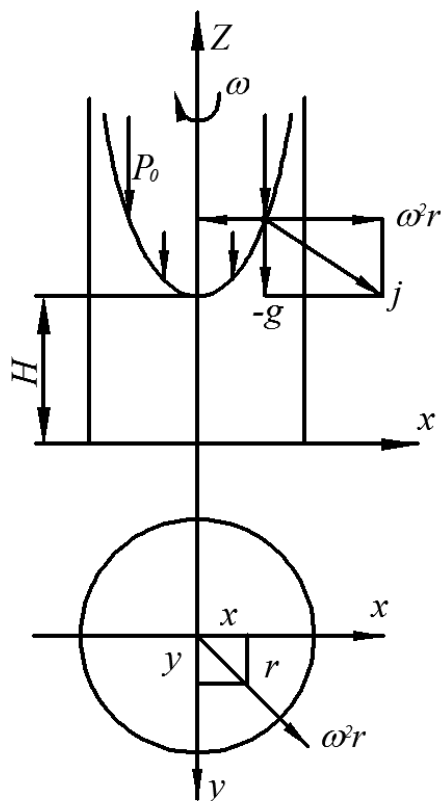
Bu zaman mayeyə təzyiq qüvvəsi, ağırlıq qüvvəsi və ətalət qüvvəsi təsir edəcəkdir.



Şəkil

Həcmi qüvvənin təcilinə oxlar üzərindəki proyeksiyaları

$$\left. \begin{aligned} x &= -a \\ y &= 0 \\ z &= -g \end{aligned} \right\}$$



Şəkil

Bu qiymətləri hidrostatikanın aşağıdakı differensial tənliyində yerinə yazaq

$$dP = \rho(xdx + ydy + zdz),$$

$$dP = -\rho(-adx - gdz).$$

Bu tənliyi differensiallayıb təzyiqi tapaq

$$P = \rho(-ax - yz) + C.$$

C-ni tapmaq üçün başlanğıc şərtədən istifadə olunur. Onda

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \\ y = 0 \\ z = H \\ P = P_0 \end{array} \right\} \text{ olacaq.}$$

$$P_0 = -\rho gH + C,$$

$$C = P_0 + \rho gH.$$

C-nin qiymətinin yerinə yazaq

$$P = P_0 + \rho g(H - z) - \rho ax.$$

Sərbəst səthin tənliyini tapmaq üçün $P = P_0$ götürürük

$$gH - gz - ax = 0,$$

$$z = H - \frac{a}{g}x.$$

Bu mayeni müstəvinin tənliyidir. Deməli sisterndə mayenin sərbəst səthi mayeli müstəvi şəklində olacaqdır

$$\operatorname{tg} \alpha = -\frac{a}{g}; \quad \alpha = \operatorname{arctg} \left(-\frac{a}{g} \right).$$

Sistern hərəkət etdikdə maye arxa tərəfə yığılır. Qəflətən dayandıqda qabaq tərəfə yığılır. Odur ki, sisternləri tam doldurmurlar.

2) *Maye sabit ω bucaq sürəti ilə fırlanan silindrik qabda nisbi müvazinətdədir.*

Mayeyə səthi qüvvələrdən təzyiq qüvvəsi, həcmi qüvvələrdən ağırlıq qüvvəsi ilə mərkəzdən qaçma qüvvəsi təsir edəcəkdir.

Onda həcmi qüvvənin təcilinə oxlar üzərindəki proyeksiyaları

$$\begin{cases} x = \omega^2 r \cos(r^2 x) = \omega^2 r \frac{x}{r} = \omega^2 x, \\ y = \omega^2 y, \\ z = -g. \end{cases}$$

Bu qiymətləri hidrostatikanın differensial tənliyində yerinə yazsaq

$$\begin{aligned} dP &= \rho(\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz), \\ P &= \rho \left(\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - g z \right) + C. \end{aligned}$$

C-ni tapmaq üçün başlanğıc şərtindən istifadə edirik

$$\begin{cases} x = 0; \\ y = 0; \\ z = 0; \\ P = P_0. \end{cases}$$

$$P_0 = -\rho g H + C; \quad C = P_0 + \rho g H;$$

$$P = P_0 + \rho g (H - z) + \rho \frac{\omega^2 r^2}{2};$$

$$r^2 = x^2 + y^2.$$

Bu düsturdan görünür ki, bucaq sürəti artdıqca təzyiqdə artır. Bu haldan istifadə olunaraq müxtəlif cismli mayeləri bir-birindən ayırmaq olar.

Məsələn, sentrofuqlar həmin tənliyə əsaslanır. Sərbəst səthin tənliyinin tapmaq üçün $P = P_0$ götürürük.

$$\begin{aligned} gH - gz + \frac{\omega^2 r^2}{2} &= 0; \\ z &= H + \frac{\omega^2 r^2}{2g}. \end{aligned}$$

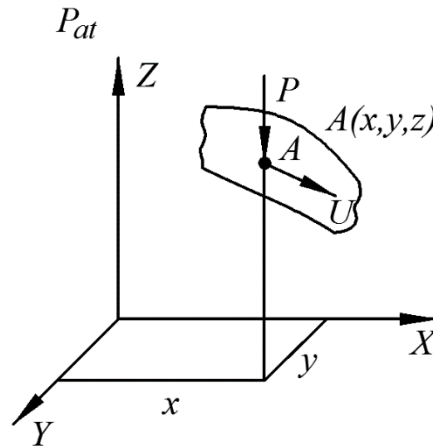
Bu parabolanın fırlanmasından alınan səthin yəni paraboloidin tənliyidir. Deməli, silindrdə mayenin sərbəst səthi paraboloid şəklində olacaqdır.

HIDRODINAMIKA

Maye hərəkətinin növləri

Hidrodinamika mayelərin hərəkət qanunlarından və bu qanunların təcrübəyə tətbiqindən bəhs edir.

Hidrodinamika bəhsində ideal maye anlayışından geniş istifadə olunur. Lakin ideal mayələr üçün çıxarılan qanunlar, tənliklər, düsturlar. Həqiqi mayələrə tətbiq olunduqda onlara müəyyən düzəlişlər olunur. Bu düzəlişlər, əsasən ideal maye ilə həqiqi mayenin fərqi olan özlülük nəticəsində yaranan sürünmə qüvvələrinə görə aparılır. Şəraitdən asılı olaraq mayenin hərəkəti iki növ olur: *qərarlanan* və *qərarlanmayan*.



Şəkil

Maye axını içərisində A nöqtəsi götürək. Həmin nöqtədən müxtəlif zamanlarda müxtəlif maye hissəcikləri keçəcəkdir. Zamandan asılı olmayaraq o hissəciklərin təzyiq və sürəti sabit qalarsa, belə hərəkətə **qərarlanan hərəkət** deyilir. Qərarlanan hərəkətə

$$P = f(x, y, z),$$

$$U = \varphi(x, y, z).$$

A nöqtəsindən keçən hissəciklərin təzyiq və sürəti zamandan asılı olaraq dəyişərsə belə hərəkətə **qərarlanmayan hərəkət** deyilir.

Qərarlanmayan hərəkətdə

$$P = f(x, y, z, t),$$

$$U = \varphi(x, y, z, t) \text{ olur.}$$

Qərarlanan hərəkət iki növ olur: *müntəzəm* və *qeyri müntəzəm*.

Axın boyunca bütün kəsiklərdə sürət eyni olarsa belə hərəkətə **müntəzəm hərəkət** deyilir. Müntəzəm hərəkəti sabit diametrli boruda almaq olar.

Axın boyunca en kəsik üzrə sürət dəyişərsə belə hərəkətə **qeyri müntəzəm hərəkət** deyilir. Müxtəlif diametrli borularda maye artmarsa, bu zaman qeyri müntəzəm hərəkət yaranar.

Bunlardan başqa mayenin hərəkəti *basqılı* və *basqısız* olur. Maye axını hər tərəfdən bərk cisim ilə əhatə olunub axarsa və onun istənilən nöqtəsindəki təzyiq atmosfer təzyiqindən çox olarsa belə hərəkətə **basqılı hərəkət** deyilir. Məsələn, borularda mayenin hərəkəti.

Maye axını üç tərəfdən bərk cisim ilə əhatə olunub axarsa və onun sərbəst səthi olarsa belə hərəkətə **basqısız hərəkət** deyilir. Məsələn, kanallarda, çaylarda, arxlarda mayenin hərəkəti.

Basqısız hərəkətdə mayenin sərbəst səthində olan təzyiq atmosfer təzyiqinə bərabər olur. Bundan başqa mayenin hərəkəti hidravlik lülə şəklində də olur. Bu zaman maye axını hər tərəfdən hava ilə əhatə olunur. Məsələn, şlalərdə suyun axması və s.

Maye axımının hidravlik elementləri

1) Cərəyan xətti.

Bu elə bir xətdir ki, maye axını içərisində bir çox nöqtələr-

dən keçir və həmin nöqtələrdəki sürət vektorları ona toxunan olur.

Qərarlanan hərəkətdə cərəyan xətti ilə hissəciyin trayektoriyası bir-birinin üzərinə düşür. Qərarlanmayan hərəkətdə isə hissəcik müxtəlif cərəyan xətləri üzərində olur.

Praktikada qərarlanan və qərarlanmayan hərəkəti aşağıdakı kimi almaq olar.

Çünə də-

xil olan və xaric olan mayenin miqdarını elə tənzim etmək olar ki

$$H = \text{const.}$$

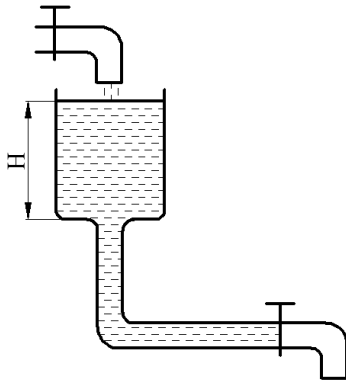
Onda borudakı mayenin hərəkəti qərarlanan olacaqdır. Əgər

$$H \neq \text{const}$$

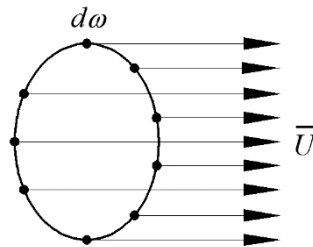
olarsa onda borudakı mayenin hərəkəti qərarlanmayan olacaqdır.

2) Şırnaq – elementar maye lüləsi.

Qapalı bir kontur olduğunu fərz edək. Bu konturun hər bir nöqtəsi bir cərəyan xəttinə uyğun olsun. Nəticədə **Şəkildəki** kimi silindrik bir səth alınacaq. Buna **cərəyan borusu** deyilir.



Şəkil



Şəkil

Cərəyan borusunun içərisi maye ilə dolu axarsa buna **şırnaq** deyilir. Şırnağın cərəyan xəttinə normal olan en kəsik sahəsinə **şırnağın canlı kəsiyi** deyilir ($d\omega$).

Şırnağın vahid zamanda canlı kəsiyindən keçən mayenin miqdarına sərf deyilir

$$dQ = \frac{W}{t} \frac{sm^3}{san}, \frac{l}{san}.$$

Şırnağın aşağıdakı xüsusiyyətləri vardır:

- 1) Axın boyunca forması sabit qalır. Deməli, cərəyan xətləri bir-birinə parallel olur. Belə hərəkətlərə **parallel lüləli hərəkətlər** deyilir.
- 2) Şırnağa maye kənardan daxil və xaric olmur, yəni şırnağın yan səthi maye keçirməyəndir.
- 3) Şırnağın en kəsik sahəsi çox kiçik olduğu üçün onun bütün nöqtələrində sürəti eyni götürmək olar. Yəni şırnağın sürətini hissəciyin sürətinə bərabər götürmək olar.

3) *Maye axımı*

Şırnaqların cəminə axım deyilir. Odur ki, axımın kəsiklərinin cəminə bərabərdir

$$\omega = \int_{\omega} d\omega.$$

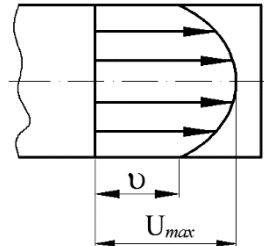
Şırnağın sərfini sürətə görə də tapmaq olar.

$$dQ = u \cdot d\omega$$

axımın sərfini.

Axımın en kəsiyi üzrə sürət qeyri bərabər paylanır. Odur ki, burada orta sürət anlayışından istifadə olunur. v - orta sürətdir.

Orta sürəti aşağıdakı düsturla tapılar



Şəkil.

$$v = \frac{\int_{\omega} u d\omega}{\int_{\omega} d\omega} = \frac{Q}{\omega}$$

$$Q = \omega \cdot v.$$

Deməli, orta sürət elə bir sürətdir ki, onunla hesablanmış sərfə bərabərdir. Q – həcmi sərfidir.

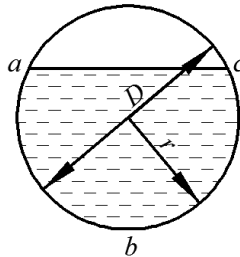
$$G = \gamma \cdot Q \frac{kq}{san}, \frac{u}{san}, \frac{\tau}{sutka}.$$

G – çəki sərfidir.

1) *Hidravlik radius*

Mayenin borunu isladan yerinin uzunluğuna (abc-nun uzunluğuna) **islanmış perimetr** deyilir. (æ)??? – islanmış perimetrdir.

Canlı kəsiyin islanmış perimetrə olan nisbətində hidravlik radius deyilir



Şəkil

$$R = \frac{\omega}{\alpha}.$$

İslanmış perimetr həndəsi perimetrə bərabər olan hal üçün (boru maye ilə tam dolub axır) borunun hidravlik radiusunu hesablayaq

$$R = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D} = \frac{D}{4} = \frac{r}{2}.$$

Sərfin sabitlik tənliyi

Aşağıdakı şərtlər daxilində şırnağın sərfi sabitdir.

- 1) Mayenin hərəkəti qərarlanandır;
- 2) Maye sıxılmayıdır
($\rho = \text{const}$);
- 3) Şırnağın yan səthi maye keçirməyəndir

$$dQ = u d\omega = \text{const}.$$

Cərəyan xətti boyunca en kəsiyini sayını artırısaq, onda sərfin sabitlik tənliyini aşağıdakı kimi yazı bilərik

$$dQ = u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 =$$

$$u_3 d\omega_3 = \dots = u_n d\omega_n = \text{const}.$$

Axın üçün sərfin sabitlik

tənliyini yazmaqdan ötrü yuxarıdakı tənlikləri diferensiallamaq lazımdır

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = \text{const}.$$

$$Q = \int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2 = \dots = \int_{\omega_n} u_n d\omega_n = \text{const}.$$

Orta sürətə görə sərfin sabitlik tənliyi aşağıdakı kimi yazılır

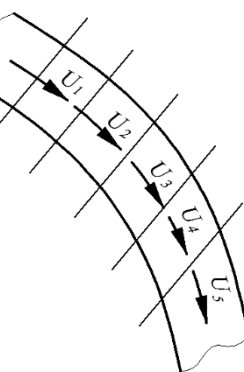
$$Q = v \cdot \omega = \text{const} \quad \text{və ya}$$

$$Q = \omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2 = \dots = \omega_n \cdot v_n = \text{const}.$$

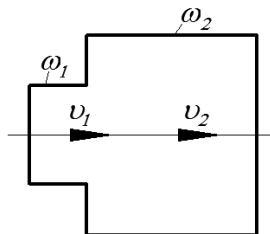
$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2;$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Sürətlərin nisbəti sahələrin nisbəti ilə tərs mütənasibdir.



Şəkil



Şəkil

İdeal maye hərəkətinin diferensial tənlikləri

İdeal maye hərəkət etdikdə ona səthi qüvvələrdən təzyiq qüvvəsi, həcmi qüvvələr və ətalət qüvvəsi təsir edəcəkdir. Təzyiq qüvvəsi ilə həcmi qüvvəni nəzərə alaraq hidrostatikanın diferensial tənliklərini aşağıdakı **Şəkil**də çıxarmışıq

$$\left. \begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} &= 0, \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} &= 0, \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Bu tənliklərə ətalət qüvvəsini də əlavə etsək hidrodinamikanın diferensial tənliklərini alarıq. Bu tənliklər vahid kütlə üçün qüvvələrin oxlar üzərindəki proyeksiyalarına görə çıxarıldığından, ətalət qüvvəsini də bu tənliklərə əlavə etdikdə, onu vahid kütlə üçün yazıb, oxlar üzərindəki proyeksiyalarını qazəb. Sonra birinci tənliklərinə əlavə etmək lazımdır. $J = m \frac{dU}{dt}$.

Ətalət qüvvəsi aşağıdakı kimi qazılır. Onun vahid kütlə üçün oxlar üzərindəki proyeksiyaları aşağıdakı kimidir

$$\left. \begin{aligned} J_x &= -\frac{dU_x}{dt}, \\ J_y &= -\frac{dU_y}{dt}, \\ J_z &= -\frac{dU_z}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2)-ni (1)-ə əlavə edək

$$\left. \begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{dU_x}{dt}, \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} &= \frac{dU_y}{dt}, \\ Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} &= \frac{dU_z}{dt}. \end{aligned} \right\}$$

İdeal maye hərəkətinin bu diferensial tənliklərini Eyler vermişdir.

İdeal maye şırnağının qərarlanan hərəkəti üçün bernulli tənliyi.

Bernulli tənliyini çıxarmaq üçün hidrodinamikanın diferensial tənliklərinin birincisini dx -ə, ikincisini dy -ə, üçüncüsünü dz -ə vurub tərəf-tərəfə toplayırlar.

$$\begin{aligned} Xdx + Ydy + Zdz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial P}{\partial x} dx + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz \right) &= \\ &= \frac{dU_x}{dt} dx + \frac{dU_y}{dt} dy + \frac{dU_z}{dt} dz. \end{aligned} \quad (1)$$

Aşağıdakı şərtlər daxilində (1) tənliyini həll edək.

1) Mayeyə həcmi qüvvələrindən yalnız ağırlıq qüvvəsi təcilinin oxlar üzərindəki proyeksiyaları

$$\left. \begin{aligned} x &= 0, \\ y &= 0, \\ z &= -g. \end{aligned} \right\}$$

$$Xdx + Ydy + Zdz = -g dz. \quad (2)$$

2) Mayenin hərəkəti qərarlanandır. Onda

$$P = f(x, y, z)$$

olduğu üçün mötərizə içərisindəki hədlərin cəmi təzyiqin tam diferensialını verəcək

$$dP = \frac{\partial P}{\partial x} dx - \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz. \quad (3)$$

3)

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} dU_x + \frac{dy}{dt} dU_y + \frac{dz}{dt} dU_z &= U_x dU_x + U_y dU_y + U_z dU_z = \\ &= \frac{1}{2} dU_x^2 + \frac{1}{2} dU_y^2 + \frac{1}{2} dU_z^2 = \frac{1}{2} d(U_x^2 + U_y^2 + U_z^2) = \frac{1}{2} dU^2 \end{aligned} \quad (4)$$

(2), (3), (4)-dən qiymətləri (1)-də yerinə yazaraq

$$-g dz - \frac{1}{\rho} dP - \frac{1}{2} dU^2 = 0.$$

Bu tənliyin hər həddini g -yə bölək. Yəni bu tənliyi vahid çəki üçün yazaraq

$$dz + \frac{1}{\rho g} dP + \frac{1}{2g} dU^2 = 0.$$

$$d\left(z + \frac{P}{\rho g} + \frac{1}{2g} U^2\right) = 0.$$

$$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = \text{const}. \quad (5)$$

(5) ideal maye şırnağının qərarlanan hərəkəti üçün bernulli tənliyidir.

Bu üç həddin cəmi istənilən kəsikdə sabit olduğu üçün iki kəsik üçün Bernulli tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} = \text{const}. \quad (6)$$

$\rho g = \gamma$ olduğu üçün yaza bilərik

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} = \text{const}. \quad (7)$$

Bernulli tənliyinin araşdırılması.

Bernulli tənliyinin araşdırılması həmin tənliyə daxil olan

$z_1 \frac{P}{\rho g}$ və $\frac{U^2}{2g}$ kəmiyyətlərinin fiziki (energetik), hidravlik və həndəsi (qrafiki) mənalılarının

aydınlaşdırılması deməkdir.

Bu üç kəmiyyətin üçündə ölçü vahidi uzunluq ölçüsüdür.

1) z – kəmiyyəti. Hər hansı bir üfq müstəvidən kəsiyin ağırlıq mərkəzinə qədər olan məsafədir. Buna **həndəsi hündürlük** deyilir. Fiziki mənada xüsusi vəziyyət enerjisidir. Bernulli tənliyi vahid çəki üçün çıxarıldığından ($mg = 1$) 0,1 kq. Mayenin enerjisini ifadə edir. Bu enerjiyə **xüsusi enerji** deyilir.

2) $\frac{P}{\rho g} = \frac{P}{\gamma}$ - **pyezometrik hündürlük** adlanır.

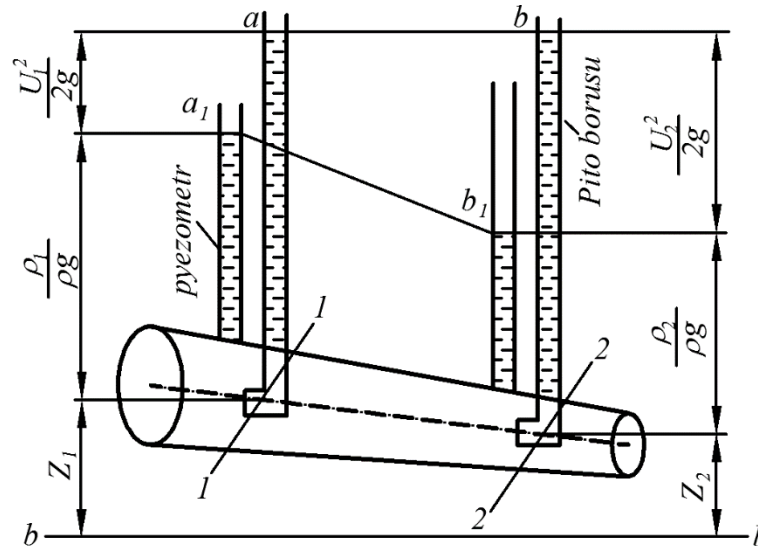
Fiziki mənada xüsusi təzyiq enerjisidir.

3) $z + \frac{P}{\rho g} = H_{st}$ - statik basqı adlanır.

$H_{st} \cdot mg = E_n$ - kəsiyin potensial enerjisidir.

Deməli, H_{st} - kəsiyin xüsusi potensial enerjisidir.

4) $\frac{U^2}{2g}$ - **sürət hündürlüyü** adlanır.



Şəkil

Pito borusunda mayenin qalxma hündürlüyü xüsusi kinetik enerjidir.

$\frac{U^2}{2g} gm = \frac{mU^2}{2}$ - kəsiyin kinetik enerjisidir.

5) $z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = H$ - kəsiyin tam xüsusi enerjisidir və ya kəsiyin tam hidrodinamik basqısıdır.

a_1b_1 xətti pyezometrik xətdir. $x-x$ müqayisə müctəvisidir. Ideal maye üçün tam hidrodinamik basqı xətti ab , üfqı olub müqayisə müstəvisinə paraleldir, yəni ideal maye üçün ayrı-ayrı kəsiklərdə bir-birinə bərabər olmayan xüsusi vəziyyət xüsusi təzyiq və xüsusi kinetik enerjilərinin cəmi sabitdir.

Həqiqi maye axını üçün Bernulli tənliyi

İdeal maye hərəkət etdikdə ona təsir edən qüvvələrinin gördükləri işlər, yalnız kinetik enerjinin dəyişməsinə sərf olunur. Həqiqi maye hərəkət etdikdə isə mayeyə təsir edən qüvvələrin gördükləri işlər mayenin özlülüyü nəticəsində yaranan hidravlik müqavimətlərinin (sürtünmə qüvvələrinin) dəf olunmasına sərf olunur. Odur ki, həqiqi maye şırnağı qçqn bernulli tənliyi aşağıdakı kimi yazılacaqdır

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} + h_w.$$

h_w - iki kəsik arasındakı xüsusi enerji itkisidir. Bu enerji mayenin qızmasına və borunun titrəməsinə sərf olunur. Hidravlikada h_w -yə **hidravlik basqı itkisi** deyilir.

Axın şırnaqların cəmindən ibarət olduğu üçün axın üçün Bernulli tənkiyini yazmaqdan ötrü, şırnaq üçün olan Bernulli tənliyinin ρ -maq lazımdır. ρ -ma zamanı nəzərdə tutmaq lazımdır ki, axının en kəsiyi üzrə təzyiqin dəyişməsi hidrostatikanın əsas tənliyinə tabedir. Yəni

$$z + \frac{P}{\rho g} = \text{const}.$$

Axının en kəsiyi üzrə sürət qeyri bərabər paylandığı üçün həqiqi maye axını üçün Bernulli tənliyini yazmaqdan ötrü orta sürətdən istifadə olunur.

Deməli

$$\frac{U^2}{2g} \text{-ni } \int \text{-maq lazımdır.}$$

Yəni şırnaq üçün olan xüsusi kinetik enerjiləri toplamaq lazımdır.

h_w - şırnağın iki kəsiyi arasındakı xüsusi enerji itkisi olduğu üçün axın üçün tam xüsusi enerji itkisi

$$H_w = \sum h_w.$$

Kəsiyin tam xüsusi enerjisi

$$dH = Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g}.$$

Kəsiyin tam enerjisini almaq üçün kəsiyin tam xüsusi enerjisinin vahid zamandakı çəkiyə vurmaq lazımdır. Vahid zamandakı çəki

$$dG = dm g = g \rho dw = \rho g dQ = \rho g U d\omega.$$

$$dE = \left(Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right) \rho g U d\omega.$$

Maye axını üçün tam enerjini almaq üçün bu tənliyi ρ -yaq

$$E = \int_{\omega} \left(Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right) \rho g U d\omega.$$

Axının tam xüsusi enerjini tapmaq üçün bu tənliyi vahid zamandakı çəkiyə bölmək lazımdır

$$G = mg = g \rho Q = \rho g v \omega.$$

Vahid zamandakı çəkidir

$$H = \frac{E}{G} = \frac{1}{\rho g v \omega} \int_{\omega} \left(Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} \right) \rho g u d\omega.$$

$$H = \left(Z + \frac{P}{\rho g} \right) \frac{\int u d\omega}{v \omega} + \frac{1}{2g} \frac{\int u^3 d\omega}{v \omega}.$$

Bu tənliyin ikinci həddinin sürət və həcmi v -na vuraq

$$\frac{v^2}{2g} \frac{\int u d\omega}{v^3 \omega} = \alpha \frac{v^2}{2g}.$$

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{v^2}{2g}.$$

Bu axımın istənilən kəsiyindəki tam xüsusi enerjidir. Onda axım üçün iki kəsikdən ötrü bernulli tənliyini aşağıdakı kimi qaza bilərik

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + H_w,$$

$$\alpha = \frac{\int u d\omega}{v^3 \omega}.$$

Bu tənliyin sürət və məxrəci $\frac{\rho}{2}$ -yə vuraq

$$\alpha = \frac{\frac{\int \rho u d\omega u^2}{2}}{\frac{\rho v \omega v^2}{2}} = \frac{\frac{\int dmu^2}{2}}{\frac{mv^2}{2}} = \frac{E_k}{E_k^1}.$$

$$E_k = \alpha \cdot E_k^1$$

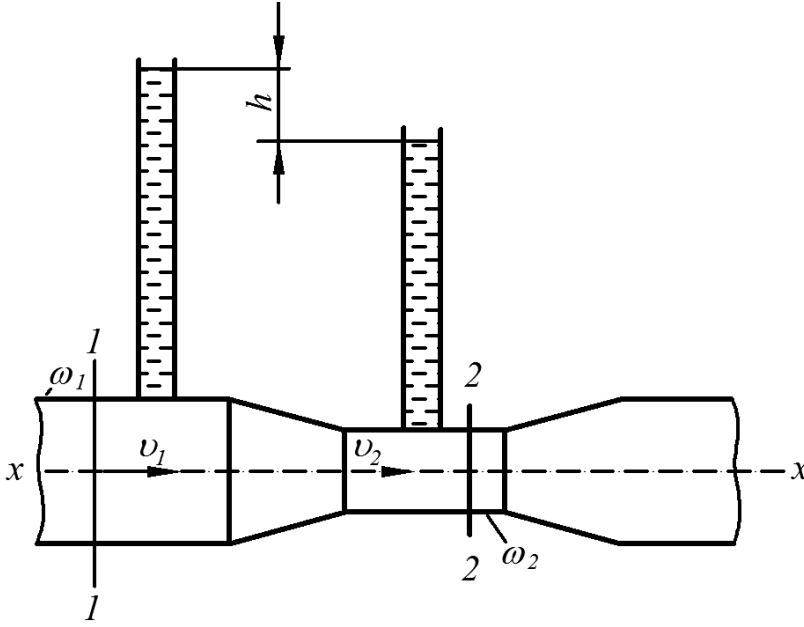
E_k - həqiqi sürətə görə kinetik enerjidir; E_k^1 - orta sürətə görə kinetik enerjidir; α - orta sürətə görə hesablanmış enerjiyə düzəliş əmsalıdır. Bunu ilk dəfə kariolis tapdığı üçün α -ya **Kariolis əmsalı** da deyilir. α -nın qiyməti eH-kəsik üzrə sürətin qeyri-bərabər paylanmasıdan asılıdır. Deməli, α -nın qiyməti hərəkət rejimindən asılıdır. Laminar rejimdə $\alpha = 2$. Turbulent rejimində $\alpha = 1,05 \div 1,1$.

Bernulli tənliyinin təcrübəyə tətbiqi

Bernulli tənliyindən istifadə olunaraq bir çox ölçü cihazları qurulmuşdur. Məsələn, venturi sərf ölçəni.

Bu cihaz iki konusvari lüləyin bir silindrik lüləklə birləşməsindən ibarətdir.

Birinci konusun əvvəl və axırında pyezometr qoyulub.



Şəkil

1-1 və 2-2 kəsikləri üçün Bernulli tənliyini yazaq

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + H_w.$$

$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, $H_w \approx 0$ gələcəkdə hidravlik itkini nəzərə alac

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

onda yazaraq

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} = h - \text{pyezometrlerin göstərişlərinin fərqi.}$$

Sərfin sabitlik tənliyinə görə

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2,$$

buradan v_1 - i tapıb yerinə yazaq

$$v_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot v_2.$$

$$2gh = v_2^2 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} \cdot v_2^2 = \left(1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}\right) v_2^2,$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}}}.$$

Sərfin sabitlik tənliyinə görə mayenin sərfi

$$Q = \omega_2 v_2.$$

Hidravlik itkiləri nəzərə almadığımız üçün borudan axan mayenin nəzəri sərfi

$$Q_{n\bar{z}} = \omega_2 v_2 = \omega_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}}} = \omega_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}}} \sqrt{h}.$$

$$\omega_2 \sqrt{\frac{2gh}{1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}}} = A - \text{verilmiş cihaz üçün sabitdir.}$$

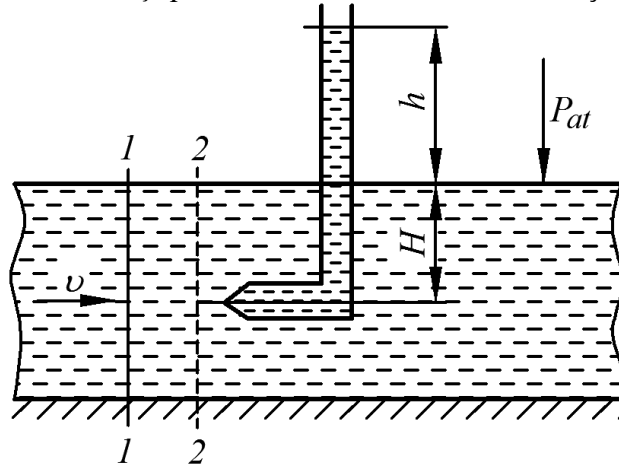
$$Q_n = A\sqrt{h}.$$

Borudan axan mayenin həqiqi sərfini Q_n ilə işarə etsək onda həqiqi sərfin nəzəri sərfə olan nisbətində **sərf əmsalı** deyilir

$$\mu = \frac{Q_h}{Q_n}; \quad Q_h = \mu A\sqrt{h};$$

$$\mu = 0,96 \div 0,98.$$

2. *Pito borusu*. Bu boru vasitəsilə açıq axarlarda və borularda sürəti ölçürlər.



Şəkil

Pito borusu 1 tərəfi 90°əyilmiş borucudan ibarətdir. Pito borusu axənən əksinə qoyulur. Əvvəlcə açıq axarda sürəti tapaq. Bunun üçün axın içərisində bir-birindən müəyyən məsafədə iki kəsik götürək. Bu kəsiklər üçün Bernulli tənliyi yazaq

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + H_w$$

$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ qəbul edək. H_w - ni nəzərə almayaq $v_2 = 0$ olacaq

$$P_1 = P_{at} + \rho g H,$$

$$P_2 = P_{at} + \rho g (H + h),$$

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} = H + h - H = h.$$

$$v = \sqrt{2gh}.$$

h - pyezometrik göstərişidir. İtkiləri nəzərə almadığımız üçün bu nəzəri sürət olacaq. Həqiqi sürət isə

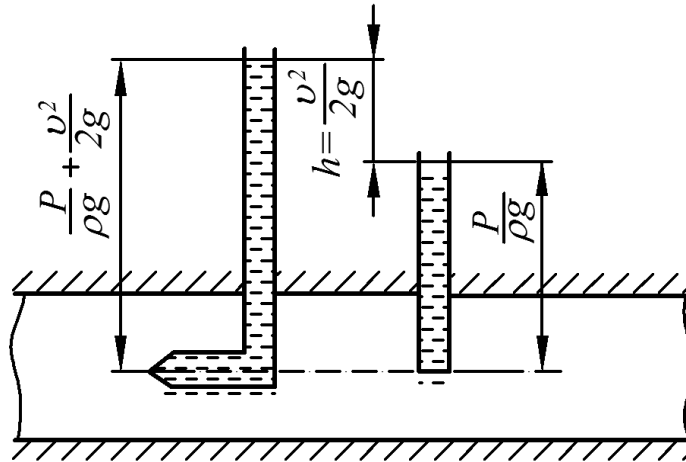
$$v_{hər} = \varphi \sqrt{2gh}.$$

φ - sürət əmsalıdır və onun qiyməti təqribən birdir.

Borularda sürəti ölçmək üçün pito borusunda yanına bir pyezometr də əlavə olunur

$$v = \sqrt{2gh}, \quad v_{hər} = \varphi \sqrt{2gh}$$

h – pyezometrlərin göstərişlərinin fərqi.



Şəkil

Hidravlik müqavimətlərin növləri

Həqiqi mayenin boruda hərəkətində yaranan hidravlik müqaviməti iki yerə ayırmaq olar.

$$H_w = h_l + h_j,$$

h_l - boru uzunluğunda mayenin özlülüyü nəticəsində yaranan sürtünmə qüvvələrinin dəf olunmasına sərf olan basqı itkisidir. Onu aşağıdakı Darsi-Beysbax düsturu ilə tapmaq olar

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

λ - hidravlik müqavimət əmsalıdır; h_j - yerli müqavimətlərə cərf olan basqı itkisidir. Onu aşağıdakı düstur ilə tapa bilərik

$$h_l = \zeta \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ζ - yerli müqavimət əmsalıdır. Vahid uzunluğa düşən hidravlik itkiyə **hidravlik maillik** deyilir.

$$J = \frac{H_w}{l}$$

l - borunun uzunluğu; H_w - həmin uzunluqdakı hidravlik itkidir. əgər maye üfq boruda qərarlanan müntəzəm hərəkət edərsə, yəni

$$z_1 = z_2, \quad v_1 = v_2$$

olarsa, onda hidravlik mailliyə **pyezometrik maillik** deyilir.

$$J_n = \frac{P_1 - P_2}{\rho g l}$$

Əgər maye açıq axarda qərarlanan müntəzəm hərəkət edərsə, onda hidravlik maillik həndəsi mailliyə bərabər olur.

$$i = \frac{z_1 - z_2}{l}$$

Bu zaman maye öz ağırlığı hesabına hərəkət edir.

Hidravlik oxşarlıq və modelləşdirmə nəzəriyyəsi haqqında

Hidravlikada çox zaman məsələlərin həllində təcrübədən istifadə olunur. Təcrübə model üzərində aparılır. Məsələn, yeni bir nasosun konstruksiyası verildikdə əvvəlcə təcrübə həmin nasosun modeli üzərində aparılır və yaxud boru kəməri ilə maye vurulduqda, məsələn, neft əvvəlcə həmin boru kəmərinin modeli üzərində təcrübə aparılır.

Əgər təcrübədən alınan nəticələr yaxşı olarsa, onda həmin nasosun və ya boru kəmərinin naturasını düzəltmək olar. Təcrübə zamanı mayenin hərəkətinə təsir edən bütün faktorlar nəzərə alınır. Odur ki, təcrübədən alınan nəticələr daha dəqiq olur.

Bu zaman belə bir sual meydana çıxır. Modeli nə ölçüdə hazırlamaq və təcrübədən alınan nəticələri naturaya necə aid etmək?

Bu suallara oxşarlıq nəzəriyyəsi cavab verir. Bu nəzəriyyəyə görə eyni xüsusiyyətli bir fiziki hadisənin həm modeldə və həm də naturada tam oxşar olması üçün tam mexaniki oxşarlıq olmalıdır. Hadisənin tam mexaniki oxşar olması üçün həndəsi, kinematik və dinamik oxşarlıq olmalıdır.

I. Həndəsi oxşarlıq.

Həndəsi oxşarlıqda eyniadlı ölçülərin nisbəti həm modeldə və həm də naturada eyni götürülür

$$\lambda_l = \frac{l_n}{l_m} = \frac{R_n}{R_m} = \frac{d_n}{d_m} = \frac{\sqrt{\omega_n}}{\omega_m} = \frac{\sqrt[3]{\omega_n}}{\sqrt[3]{\omega_m}},$$

λ_l - modelləşmənin həndəsi miqyasıdır; n - indeksi naturada; m - indeksi model deməkdir.

II. Kinematik oxşarlıq.

Burada sürətlərin nisbəti götürülür. Bundan başqa tam kinematik oxşarlıq olması üçün həndəsi oxşarlığında olması vacibdir. Zaman miqyası

$$\lambda_t = \frac{t_n}{t_m}.$$

Sürətlərin nisbəti

$$\frac{v_n}{v_m} = \frac{l_n}{t_n} \cdot \frac{t_m}{l_m} = \frac{\lambda_l}{\lambda_t}.$$

Təcillərin nisbəti

$$\frac{a_n}{a_m} = \frac{v_n}{t_n} \cdot \frac{t_m}{v_m} = \frac{\lambda_l}{\lambda_t^2}.$$

III. Dinamik oxşarlıqda.

Qüvvələrin nisbəti götürülür. Həqiqi maye hərəkət etdikdə ona bir çox qüvvələr təsir edir. Məsələn:

1) Nyutonun II qanununa görə

$$F = ma, \quad m = \rho W = \rho l^3,$$

$$a = \frac{v}{t}, \quad v = \frac{l}{t}, \quad t = \frac{l}{v}, \quad a = \frac{v^2}{l}.$$

$$F = \rho l^3 \cdot \frac{v^2}{l}, \quad F = \rho l^2 \cdot v^2.$$

2) Özlülük qüvvəsi. Nyutonun daxili sürtünmə qanununa görə

$$T = \mu S \frac{du}{dH}; \quad \mu = \nu \rho; \quad s = l^2;$$

$$T = \nu \rho l^2 \frac{v}{l}; \quad T = \nu \rho l v.$$

3) Təzyiq qüvvəsi

$$\mathcal{P} = \rho \omega; \quad \omega = l^2;$$

$$\mathcal{P} = \rho l^2.$$

4) Ağırliq qüvvəsi

$$G = mg; \quad m = \rho l^3;$$

$$G = \rho l^3 g.$$

Dinamik oxşarlıqda aşağıdakı oxşarlıq parametrlərindən istifadə olunur.

1) Nyuton parametri. Ətalət qüvvələrinin nisbəti götürülür

$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n l_n^2 v_n^2}{\rho_m l_m^2 v_m^2} = \frac{F_n}{\rho_n l_n^2 v_n^2} = \frac{F_m}{\rho_m l_m^2 v_m^2}.$$

$$Ne = \frac{F}{\rho l^2 v^2} = idem \text{ (eynilik)}$$

2) Reynolds parametric. Bu parameter ətalət qüvvələrinin özlülük qüvvələrinə olan nisbətidir

$$Re = \text{ətalət qüvvəsi} / \text{özlülük qüvvəsi} = \frac{\rho l^2 v^2}{\nu \rho l v} = \frac{l v}{\nu};$$

$$Re = \frac{l v}{\nu} = idem.$$

Re - ölçüsüz peynolds parametridir. Borularda özlülü maye hərəkət etdikdə bu parametrdən istifadə olunur. Deməli burada maye hərəkət etdikdə əsasən sürtünmə qüvvəsi və ətalət qüvvəsi olur. Odur ki borularda $l = d$ götürülür. Onda Reynolds parametric belə yazılır

$$Re = \frac{d v}{\nu}.$$

Əgər Re-nin qiyməti həm dəldə və həm də naturada eyni olarsa, deməli model və naturadakı hərəkət rejimi eynidir. Yəni bu iki proses oxşardır.

3) Eyler parametri

$$E_u = \text{təzyiq qüvvəsi} / \text{ətalət qüvvəsi} = \frac{p l^2}{\rho l^2 v^2}$$

Burada təzyiq qüvvəsinin ətalət qüvvəsinə nisbəti götürülür

$$E_u = \frac{P}{\rho v^2} = idem .$$

4) Frud parametric

Burada ətalət qüvvəsinin ağırlıq qüvvəsinə nisbəti götürülür

$$F_r = \text{ətalət qüvvəsi/ağırlıq qüvvəsi} = \frac{\rho l^2 v^2}{\rho l^3 G} = \frac{v^2}{Gl} .$$

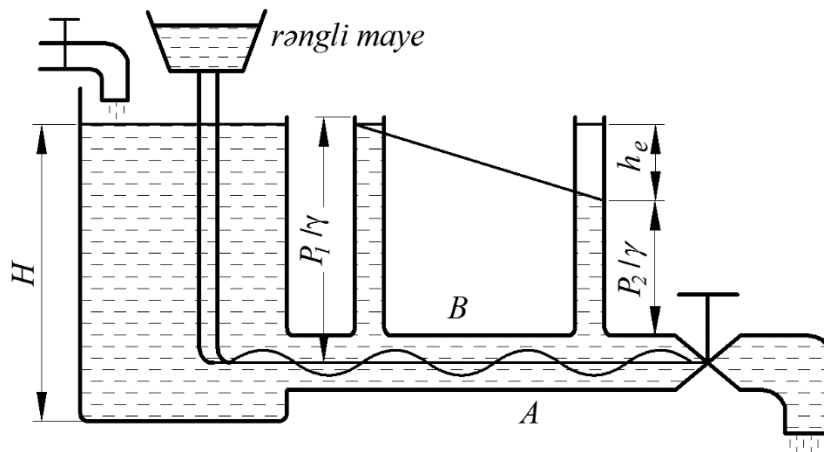
$$F_r = \frac{v^2}{lG} = idem .$$

Praktikada bütün qüvvələri nəzərə almaq mümkün olmur. Kifayətdir ki, bir iki qüvvə nəzərə alınsın. Yəni bir parameter və ya iki parameter nəzərə alınarsa o düzgün nəticə verir.

Lakin əsas məsələ ondan ibarətdir ki, həmin prosesdə hansı qüvvə əsas rol oynayır. Məsələn, boruda maye hərəkət etdikdə özlülük qüvvəsi. Deməli, burada Reynolds parametrinin götürülməsi kifayətdir.

Maye hərəkətinin rejimləri

Reynolds aşağıdakı təcrübəni apararaq maye hərəkətinin iki rejimdə olmasını göstərmişdir.



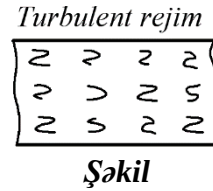
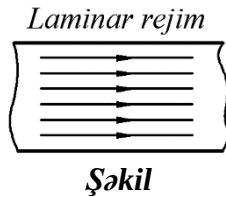
Şəkil

$H = \text{const}$ - olandan sonar təcrübə aparılır, yəni borudakı mayenin hərəkəti qərarlanan olur. Sonra rəngli maye boruya daxil edilir. Əgər rəngli maye borudakı suya qarışmayaraq bir düz xətt şəklində (A) axarsa, deməli borudakı mayenin hərəkət rejimi təbəqəli, yəni laminardır.

Əgər rəngli maye borudakı suya qarışaraq axarsa (B), borudakı mayenin hərəkət rejimi qarmaqarışıq, yəni turbuləndir.

Laminar hərəkət rejimində maye hissəcikləri təbəqəli hərəkət edirlər. Burada cərəyan xətləri trayektoriyalar bir-birinə parallel olur.

Turbulent rejimdə hissəciklər həm borunun oxu istiqamətində və həm də borunun en kəsiyi üzrə hərəkət edirlər. Odur ki, burada maye hissəciklərinin yerdəyişməsi alınır. Bu da müqavimətin artmasına səbəb olur.



Reynolds təcrübə zamanı müəyyən etmişdir ki, hərəkət rejimi borunun diametrindən, axının orta sürətindən və mayenin özlülüyündən asılıdır. Hərəkət rejimi ölçüsüz Reynolds parametrləri ilə müəyyən olunur

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

Aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, əgər $Re < 2320$ olarsa rejim laminardır. Əgər

$$Re > 2320 \text{ olarsa}$$

olarsa rejim turbulentdir.

Deməli, Re-nin böhran qiyməti $Re_{b\ddot{o}hran} < 2320$ -dir.

Hidravlik müqavimət hərəkət rejimindən asılıdır. Bu asılılığı Reynoldsın təcrübəsindən istifadə edib qurmaq olar. Bunun üçün təcrübəni bir neçə dəfə təkrar etmək lazımdır

$$h_e = f(Re) .$$

Əgər eyni diametrli boruda eyni mayenin hərəkəti tədqiq olunarsa, onda hərəkət rejimi yalnız sürətdən asılı olaraq dəyişəcək. Onda yazı bilərik

$$h_e = f(v) .$$

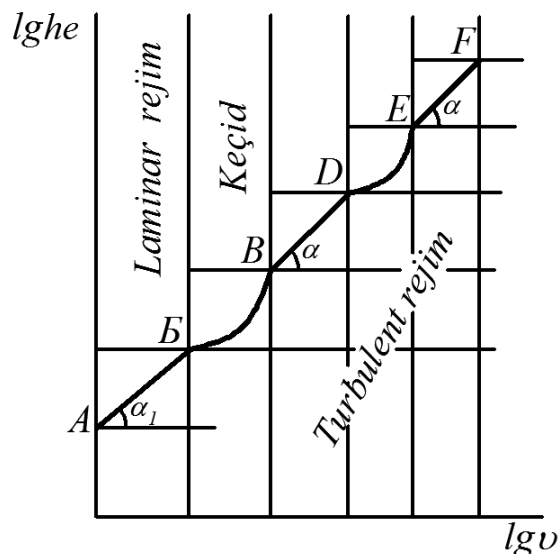
h_e - i pyezometrlərin fərqi kimi tapmaq olar

$$h_e = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} .$$

Sürəti isə sərfin sabitlik tənliyindən tapmaq olar

$$v = \frac{Q}{\omega}; \quad Q = \frac{W}{t} .$$

Təcrübədən alınan nəticələr **Şəkil**dəki kimi qrafikada qurulur. Qrafika əsasən beş zonaya bölmək olar.



Şəkil

I zona. Laminar rejim. AB – düz xətti

$$h_e = A \cdot v, \quad \operatorname{tg} \alpha_1 = 1.$$

Deməli, laminar rejimdə sürtünmə müqaviməti sürətin birinci dərəcəindən asılıdır.

II zona. Keçid zonası. BV əyri xətti

$$\operatorname{Re} = (2320 \div 4000).$$

Bu arada mayenin hərəkəti dayanıqlı olmur.

III zona. Turbulent rejimdə hidravlik hamar borular zonası VD düz xətti.

IV zona. Qarışıq zona. DE əyri xətti.

V zona. EF düz xətti – kvadratik zona adlanır.

BDEF – xətti turbulent rejimdir

$$h_e = \beta v^n, \quad n = (1,75 \div 2).$$

Hidravlik hamar borularda $n = 1,75$. Qarışıq zonada $n = (1,75 \div 2)$. Kvadratik zonada $n = 2$. Kvadratik zonada hidravlik müqavimətlərə sərf olan basqı itkisi (h_e) sürətin kvadratından asılı olduğu üçün buna kvadratik zona deyilir.

A və B əmsalları borunun en kəsik ölçülərindən və mayenin fiziki xassələrindən asılıdır.

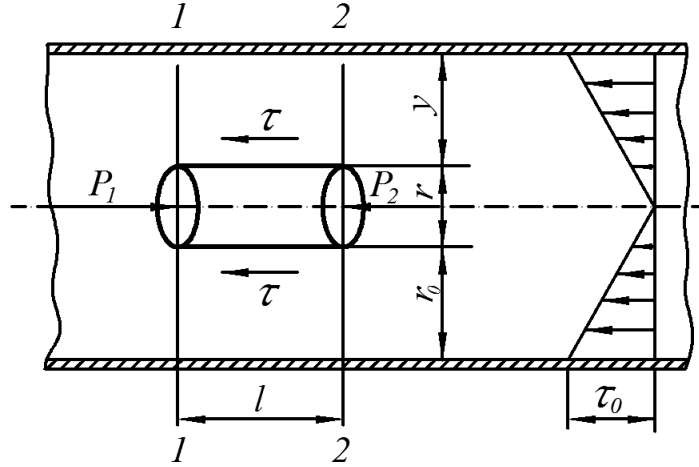
Laminar hərəkət rejimi

Laminar hərəkət rejimində maye hissəcikləri bir-birinə paralel təbəqəli hərəkət edir. Burada maye şırnaqları cərəyan xətti, trayektoriyalar bir-birinə paraleldir.

Burada əsas müqavimət mayenin özlülüyündən yaranan sürtünmə müqavimətidir.

1) *Laminar rejimdə qərarlanan müntəzəm hərəkətin əsas tənliyi və ya toxunan gərginlik və onun en kəsik üzrə paylanması.*

Əsas tənliyi çıxarmaq üçün üfqü boruda mayenin qərarlanan müntəzəm hərəkətinə baxırıq. Bu halda mayeyə təsir edən təzyiq qüvvələri müqavimət qüvvəsinə bərabər olur.



Şəkil

Qüvvələrin qiymətlərini yerinə yazaq

$$\mathcal{P}_1 - \mathcal{P}_2 = T, \quad (1)$$

$$P_1 - P_2 / \pi r^2 = \tau \cdot 2\pi r l.$$

Buradan τ -nu tapaq

$$\tau = \frac{P_1 - P_2}{l} \frac{r}{2}. \quad (2)$$

1-1 və 2-2 kəsikləri üçün Bernulli tənliyini yazaq. Hərəkəy qərarlanan müntəzəm olduğu üçün $V_1 = V_2$ olacaq. Boru üfqü olduğu üçün

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + h_e, \quad h_e = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}.$$

Bu tənliyi hər tərəfini l -ə bölək

$$\frac{h_e}{l} = J = \frac{P_1 - P_2}{\gamma l}.$$

J - hidravlik maillikdir.

$$\frac{P_1 - P_2}{l} = J\gamma. \quad (3)$$

(2) və (3)-dən yazı bilərik

$$\tau = \gamma J \frac{r}{2}.$$

Bu qərarlanan müntəzəm hərəkətin əsas tənliyidir.

τ - istənilən maye təbəqəsi arasındakı toxunan gərginlikdir. Yəni, r məsafəsindəki gərginlikdir.

Divardakı gərginliyi tapmaq üçün $r = r_0$ götürmək lazımdır. Onda $\tau = \tau_0$ olar.

$$\tau_0 = \gamma J \frac{r_0}{2}.$$

$$\frac{\tau}{\tau_0} = \frac{r}{r_0}; \quad \tau = \tau_0 \frac{r}{r_0}.$$

Divardan istənilən maye təbəqəsinə olan məsafəni y ilə işarə etsək

$$r = r_0 - y,$$

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{y}{r_0} \right)$$

Bu düz xəttin tənliyidir.

Deməli toxunan gərginlik borunun en kəsiyi üzrə düz xətt qanunu ilə dəyişir.

$y = 0$ olanda, yəni divarda $\tau = \tau_0$ maksimal qiymət alınır.

$y = r_0$ yəni borunun oxunda $\tau = 0$ olur (**Şəkilə** bax)

2) Laminar rejimdə sürətin borunun en kəsiyi üzrə paylanması.

Nyutonun daxili sürtünmə qanununa görə

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr}.$$

Digər tərəfdən qərarlanan müntəzəm hərəkətin əsas tənliyinə görə

$$\tau = -\gamma J \frac{r}{2};$$

$$-\mu \frac{dU}{dr} = -\gamma J \frac{r}{2},$$

$$dU = \frac{\gamma J}{2\mu} r dr.$$

Bu tənliyi $\int$ -yib borunun en kəsiyi üzrə sürətin dəyişməsinə tapaq

$$U = -\frac{\gamma J}{2\mu} \int_{r_0}^r r dr = \frac{\gamma J}{2\mu} \int_r^{r_0} r dr,$$

$$U = \frac{\gamma J}{4\mu} (r_0^2 - r^2).$$

Bu parabolanın tənliyidir.

Deməli, laminar rejimdə borunun en kəsiyi üzrə sürət parabola qanuna üzrə dəyişir.

$r = r_0$ olsa $U = 0$ olar.

Deməli, borunun divarında sürət

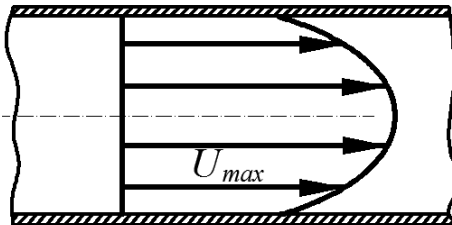
$r = 0$ olsa

$U = \max$ olar.

Deməli, borunun oxunda sürət maksimal qiymət alacaq.

$$U_{\max} = \frac{\gamma J}{4\mu} r_0^2 = \frac{\gamma J d^2}{16\mu}.$$

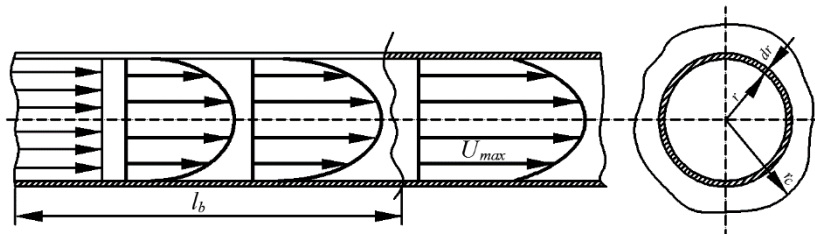
Maye boruya daxil olduqda bütün kəsiklərdə sürət eyni olur. Sonra sürtünmə qüvvələrinin nəticəsində his-in sürəti müxtəlif alınır.



*laminar rejimdə sürətin
kəsik üzrə paylanması*

Ket-gedə sürətlər
epyurası parabola şəklini
alır.

Şəkil



Şəkil

Epyura parabola şəklini aldıqda həmin məntəqənin başlanğıcdan olan məsafəsinə başlanğıc məntəqənin uzunluğu deyilir.

Lominar rejimdə başlanğıc məntəqənin uzunluğunu aşağıdakı düsturla tapmaq olar

Laminar rejimdə axının sərfi və orta sürəti

Mərkəzdən r məsafəsində eni dr olan yarıqdan axan mayenin sərfini tapmaq

$$l_b = 0,03 \operatorname{Re} d.$$

$$dQ = U d\omega = \frac{\gamma J}{4\mu} (r_0^2 - r^2) 2\pi r dr.$$

Bu tənliyi diferensialsaq tam sərfi tapmaq

$$Q = \frac{\gamma J \pi}{2\mu} \int_0^{r_0} (r_0^2 - r^2) r dr = \frac{\gamma J \pi}{2\mu} \left(\frac{r_0^4}{2} - \frac{r_0^4}{4} \right),$$

$$Q = \frac{\gamma J \pi}{8\mu} \cdot r_0^4 = \frac{\gamma J \pi d^4}{128\mu}.$$

Sərfin sabitlik tənliyinə görə

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi d^2};$$

$$v = \frac{4\gamma J \pi d^4}{128\mu \pi d^2} = \frac{\gamma J d^2}{32\mu}.$$

v - nin düsturu ilə U_{max} düsturunu müqayisə etsək alarıq ki,

$$v = 0,5 U_{max}.$$

Deməli, laminar rejimdə orta sürət maksimum sürətin yarısına bərabərdir.

4) Lominar rejimdə basqı itkisi.

Lominar rejimdə boru uzunluğunda yaranan sürtünmə müqavimətlərinə sərf olan basqı itkisinin orta sürətin düsturundan tapmaq olar

$$J = \frac{32\mu v}{\gamma d^2}.$$

Digər tərəfdən hidravlik mailliyi aşağıdakı kimi tapa bilərik

$$J = \frac{he}{l}; \quad he = Jl;$$

$$he = \frac{32\mu l v}{\gamma d^2}.$$

Bu düstur **Buazele düsturu** adlanır.

$$\frac{\mu}{\gamma} = \frac{v\rho}{g\rho} = \frac{v}{g};$$

$$he = \frac{32vl v}{\gamma d^2}.$$

Bu düsturlardan görünür ki, axın boyunca mayenin özlüklüyündən yaranan sürtünmə qüvvələrinin dəf olunmasına sərf olun basqı itkisi sürətin birinci dərəcəsiindən asılıdır.

Digər tərəfdən laminar rejimdə

$$he = Av$$

Onda

$$A = \frac{32vl}{\gamma d^2} \quad \text{və ya} \quad A = \frac{32\mu l}{\gamma d^2}.$$

Deməli A əmsalı laminar rejimdə mayenin fiziki xassəsindən və borunun ölçülərindən asılıdır. Maye laminar rejimlə hərəkət etdikdə borunun divarında sürət sıfır olduğu üçün borunun divarında olan kəmə-kötürlüklər maye təbəqəsi ilə örtülür. Odur ki, laminar hərəkət rejimində maye təbəqəsi ilə divar arasında sürtünmə olmur. Sürtünmə yalnız maye təbəqələri arasında olur. Ona görə də müqavimət azalır.

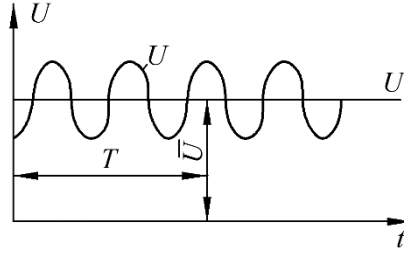
Turbulent hərəkət rejimi

Mürəkkəb hidravliki proses olan turbulent hərəkət rejiminə təbiətdə və mexanikada çox təsadüf olunur

$$Re > Re_b \text{ olduqda}$$

hərəkətin paralelliyi pozulur, yəni laminar rejim yox olur. Bu zaman özlülük qüvvələri azalır, ətalət qüvvələri çoxalır. Maye hissəciklərinin axın istiqamətindəki sürətindən başqa, eninə istiqamətində də sürətin toplanan meydana çıxır. Re-nin artması ilə maye hissəciklərinin sürətlərinin eninə toplananının qiyməti çoxalır. Bu zaman hissəciklər bir şırnaqdan başqa bir şırnağa keçməyə başlayırlar ki, bu da axında mayenin intensiv yerdəyişməsinə səbəb olur. Axın qasırgılar yaradır. Yəni turbulent hərəkət rejimi əmələ gəlir. Turbulent rejimdə hissəciklərin sürət

və təzyiqi döyüntülü olur. Yəni turbulent hərəkət rejimi qərarlanmayan hərəkət olur. **Şəkildə** turbulent hərəkət rejiminin də hissəciyin sürətinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi göstərilmişdir.



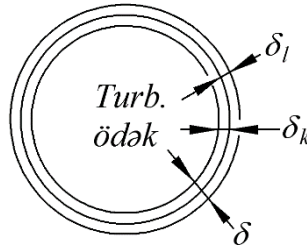
Şəkil

hissəciyin sürətinin dəyişməsi müəyyən bir sürət ətrafında olur ($\bar{U}$). Bu sürətə zamana görə hissəciyin **ortalasmış sürəti** deyilir. Turbulent hərəkət rejimində $\bar{U}$ sürətini qəbul etməklə biz turbulent hərəkət rejimini müəyyən zaman müddətində qərarlanan hərəkətdə olduğunu qəbul etmiş oluruq. bu da imkan verir ki, qərarlanan hərəkətin tənliyini turbulent rejimə tətbiq edək. Məsələn, Bernulli tənliyini turbulent hərəkət rejiminə $\bar{U}$ qəbul etməklə tətbiq edək

$$\bar{U} = \frac{\Omega}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T U dt,$$

Ω - bir tərəfi T, digər tərəfi isə əyri olan səthin sahəsidir. Döyüntü sürətini aşağıdakı kimi tapmaq olar.

Turbulent rejimi iki oblasta bölmək olar. Laminar təbəqə və turbulent özək. Lakin sonrakı tədqiqatlar göstərir ki, laminar təbəqə ilə turbulent özək arasında keçid təbəqəsi vardır. δ_l - laminar təbəqənin qalınlığıdır. Onun qiyməti 0,1 mm-dir (bir neçə mm-ə qədər olur).



Şəkil

Onu belə tapmaq olur

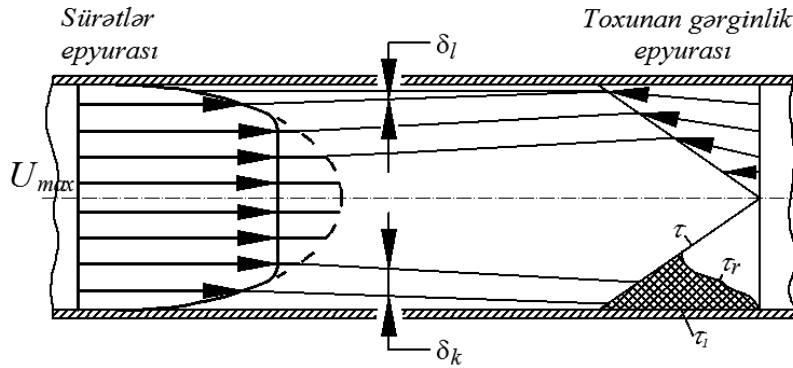
$$\delta_l = \frac{30d}{Re \sqrt{d}}$$

δ_k - keçid təbəqəsinin qalınlığıdır. Laminar təbəqə ilə keçid təbəqəsi sərhəd qatını təşkil edilir

$$\delta = \delta_l + \delta_k.$$

1. Turbulent rejimdə sürətlər və toxunan gərginliklər epyurası.

Turbulent rejimdə laminar təbəqə hüdudunda borunun en kəsiyi üzrə sürət parabola qanunun ulə dəyişir. Turbulent özəkdə isə hissəciklərin intensiv yerdəyişməsindən asılı olaraq sürətlər epyurası düzlənir. Lakin yenə də borunun oxunda sürət maksimum, borunun divarında isə sıfıra bərabər olur. Laminar rejimdən fərqli olaraq turbulent rejimdə orta sürət maksimum sürətin yarısına bərabər deyildir, burada orta sürət ilə maksimum sürətinin əlaqəsi Reynolds ədədinin qiymətindən asılıdır.



Şəkil

Re artdıqca orta sürət maksimum sürətə yaxınlaşır

$$v = (0,75 \div 0,87) U_{\max}.$$

Turbulent rejimdə başlanğıc məntəqənin uzunluğunu aşağıdakı düstur ilə yazmaq olar

$$l_b = (30 \div 40) d.$$

Turbulent rejimdə toxunan gərginliyi aşağıdakı kimi tapmaq olar

$$\tau = \tau_1 + \tau_2.$$

τ_1 - mayenin özlülüyündən yaranan toxunan gərginlikdir. Onu Nyutonun daxili sürtünmə qanunundan tapmaq olar

$$\tau_1 = \mu \frac{dU}{dh},$$

μ - mayenin dinamik özlülük əmsalıdır və mayenin fiziki xassəsindən asılıdır. τ_2 - turbulent rejimdə yaranan əlavə gərginlikdir. O mayenin axında intensiv yerdəyişməsindən əmələ gəlir. Onu aşağıdakı düsturla tapmaq olar

$$\tau_2 = \eta \frac{dU}{dh}$$

η - turbulent özlülük adlanır. Dinamik özlülükdən fərqli olaraq o mayenin fiziki xassəsindən asılı deyildir. η - nın qiyməti axında mayenin intensiv yerdəyişməsindən asılıdır.

η - nı aşağıdakı düsturla tapmaq olar

$$\eta = \rho l^2 \frac{dU}{dh}$$

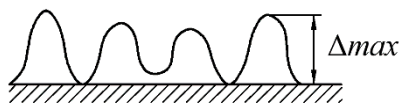
l - maye hissəciklərinin yerdəyişmə yolunun uzunluğudur. Qrafikadan görünür ki, turbulent özəkdə $\tau_1 \approx 0$.

$$\tau = \tau_2.$$

τ_1 - laminar təbəqədə maksimum qiymət alır. Keçid təbəqəsində isə τ_2 maksimum olur.

2. Hidravlik hamar və kələkötür borular haqqında.

Boruların hazırlanmasından asılı olaraq, onların daxili divarlarının səthi girintili – çıxıntılı olur. Yəni müxtəlif kələkötürdə olurlar. $\Delta_{\max}$ - kələkötürlüğün maksimum qiymətidir.



Şəkil

Buna maksimum mütləq kələkötürlük əmsalı deyilir. Təzə dəmir borular üçün

$$\Delta_{\max} = 0,02 \div 0,2 \text{ mm}.$$

Köhnə dəmir borular üçün

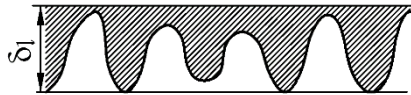
$$\Delta_{\max} = 0,2 \div 1,2 \text{ mm}.$$

$\Delta_{\max}$ -nin qiyməti borunun materialından onun hazırlanma üsulundan, borudan vurulacaq mayenin fiziki xassəsindən, onun istismar müddətindən və i.a. asılıdır. Laminar hərəkət rejimində borunun divarının kələkötürlüyü maye qatı ilə örtülür. Divar sürtünmədə iştirak eləmir. Turbulent hərəkət rejimində isə boruları sünti olaraq iki yerə bölürlər: hidravlik hamar və kələkötür borular.

1. Hidravlik hamar borular

$$\delta_l > \Delta_{\max}$$

Laminar təbəqə kələ-kötürlüyü örtür. Divarın səthi hidravlik hamar olur.



Şəkil

2. Hidravlik kələ-kötür borular.

$$\delta_l < \Delta_{\max}$$

Bu halda divar sürtünmədə iştirak edir. δ_l -in düsturundan görünür ki, Re-nin qiyməti artdıqca laminar təbəqənin qalınlığı azalır. Deməli, eyni bir boru Re-nin kiçik qiymətlərində hidravlik hamardısa. Re-nin qiymətlərindən kələ-kötür olur.

3. Turbulent rejimdə basqı itkisi

Laminar rejimdə basqı itkisi Buazele düsturu ilə tapılır

$$h_e = \frac{32\nu l v}{gd^2}.$$

Bu düsturun sürət bə məxrəcini 2ν -yə vuraq

$$h_e = \frac{32\nu l v \cdot 2\nu}{gd^2 \cdot 2\nu} = \frac{64}{\frac{\nu d}{v}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

$$\text{Re} = \frac{\nu d}{v}; \quad h_e = \frac{64}{\text{Re}} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

$$\frac{64}{\text{Re}} = \lambda \text{ ilə işarə edək}$$

$$h_e = \lambda \frac{lv^2}{d2g}.$$

Buna **Darsi-Veysbax düsturu** deyilir. Bu düsturla həm laminar və həm də turbulent rejimlərdə vasqı itkisini tepmaq olar.

λ - hidravlik müqavimət əmsalı ümumi halda

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\Delta}{d}\right).$$

Δ - ekvivalent kələ-kötürlülük əmsalıdır; $\frac{\Delta}{d}$ - nisbi kələ-kötürlülük əmsalıdır; λ -nı zonalardan asılı olaraq tapırlar.

	Re	λ
1. Laminar hərəkət zonası $\lambda = f(\text{Re})$	$\text{Re} < 2320$	$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$
2. Keçid zonası	$\text{Re} = (2320 \div 4000)$	Boru kəmərinə layihə etmək olmaz
3. Turbulent rejimdə hidravlik hamar borular zonası $d = f(\text{Re})$	$4000 < \text{Re} < \text{Re}_2$	$\lambda = 0,3164 \text{Re}^{-0,28}$
4. Turbulent rejimdə qarışıq zona $d = f(\text{Re})$	$\text{Re}_1 < \text{Re} < \text{Re}_2$	$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,28}$
Turbulent rejimdə kvadratik zona $\lambda = f\left(\frac{\Delta}{d}\right)$	$\text{Re} > \text{Re}_2$	λ -nı Nikuradzenin düsturu ilə tapırlar $\lambda = \left(1,14 + 2 \lg \frac{d}{\Delta} \right)^{-2}$

Re_1 və Re_2 -ni təxminən aşağıdakı düsturla tapmaq olar

$$\text{Re}_1 = 20 \frac{d}{\Delta}; \quad \text{Re}_2 = 500 \frac{d}{\Delta}$$

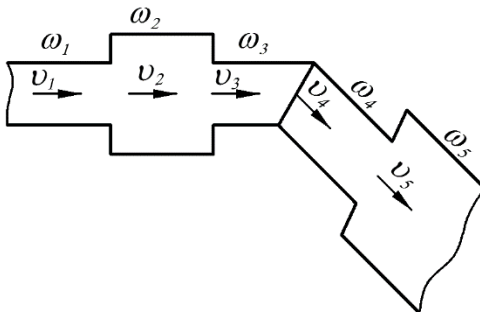
$\frac{d}{\Delta}$ - nisbi hamarlıq deyilir.

Ekvivalent kələ-kötürlülük elə bir borunun divarının kələ-kötürlülüynə deyilir ki, orada yaranan hidravlik müqavimət, təbii boruda yaranan hidravlik müqavimətə bərabər olsun. Ekvivalent kələ-kötürlülüğü Nikuradzenin düsturu ilə tapılır.

Nikuradze təcrübələrini borunun divarının üzərinə eyni dənəli qum səpməklə aparmışdır. Deməli ekvivalent kələ-kötürlülük elə bir qum dənələrinin orta diametridir ki, həmin diametrdə alınan müqavimət, təbii boruda alınan müqavimətə bərabər olur.

Yerli müqavimət

Sürətinin qiymət və istiqamətinin dəyişməsi nəticəsində yaranan müqavimətlərə **yerli müqavimətlər** deyilir. Fərz edək ki, maye **Şəkil**də göstərilən boruda hərəkət edir bu borunun.



Bu borunun həm en kəsiyi dəyişir, həm də istiqaməti. Odur ki buradasürətin həm qiymətidəyişəcək, həm də istiqaməti. Deməli, belə bir boruda maye hərəkət rtdikdə yerli müqavimət yaranır. Borunun en kəsiyi qəflətən genişlənməsi hadisəsinə baxaq

$$\omega_1 < \omega_2 \text{ olduğu üçün } v_1 = v_2 \text{ olacaq.}$$

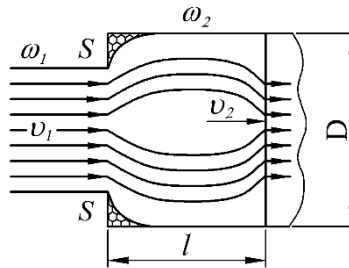
Odur ki, hissəciklər ab sərhəddini keçdikdən sonra bir biri ilə toqquşacaq və hərəkətin paralelliyi posulacaq.

Parallelik $l = (50 \div 60)D$ -dən sonra bərpa olunacaq. SS yerlərində maye hərəkət etməyəcək. Buruncanlar əmələ gələcək.

Bütün bunlar yerli şəraitdən asılı olaraq əmələ kəldikləri üçün bunlara **yerli müqavimətlər** deyilir.

Yerli müqavimətlərə sərf olan enerji itkisini aşağıdakı düsturla tapmaq olar

$$h_j = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}.$$



Şəkil

Sərfin sabitlik tənliyinə görə

$$\omega_1 v_1 = \omega_2 v_2, \quad v_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1} v_2$$

v_1 - ni qiymətini yerinə yazaq

$$h_j = \frac{\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} v_2 - v_2 \right)^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{v_2^2}{2g}.$$

$$\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 = \xi \text{ - yerli müqavimət əmsalı.}$$

$$h_j = \xi \frac{v_2^2}{2g}.$$

Yerli müqavimət əmsalı praktikadan tapılır. Qəflətən genişlənmə

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 \div 10; \quad \xi = 0 \div 81.$$

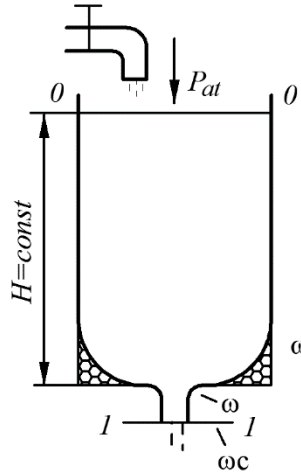
Yerli müqavimət əmsalı asılıdır sahələrin nisbətindən, döngələrindən, dönmə bucağından, səlis döngələrdə ayrılık radiusundan, ventil kran, siyirtmə. Onların açılma dərəcəsiindən və s.

Sabit basqıda mayenindeşik və lülələkdən axması

Basqı sabit olduğu üçün mayenin hərəkəti qərarlanan ola-

caq. Rezervuarlardan, çənlərdən mayeni boşaltmaq üçün onların oturaclarında və ya yan divarlarında deşiklər açılır. Onların forması dairə, üçbucaq, kvadrat ola bilər.

Maye onlardan xaric olduqda səthi gərilmə qüvvəsinin təsirindən maye lüləsinin en kəsiyi sıxılır. Hətta maye lüləsinin en kəsiyinin forması dəyişir. Buna **lülənin inversiyası** deyilir. Məsənin, dəyişən en kəsiyinin forması dairə olarsa, maye kəsiyi en kəsiyinin forması ellipsə oxşayır.



Şəkil

ω - dəyişən; ω_c - isə sıxılan yerdə lülənin en kəsik sahəsidir

$$\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega} < 1 \text{ sıxılma əmsalı adlanır.}$$

Su üçün $\varepsilon = 0,64$. Sürət və sərfi tapmaq üçün Bernulli tənliyindən istifadə edilir. Bernulli tənliyini 0-0 və 1-1 kəsikləri üçün yazılıq

$$H + \frac{P_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = 0 + \frac{P_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + H_w$$

$v_0 \approx 0$ götürmək olar.

$$H_w = h_e + h_j = \xi \frac{v_1^2}{2g}$$

Burada əsasən yerli itkilər olur. Onda

$$H = \frac{v_1^2}{2g} (\alpha_1 + \xi);$$

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1 + \xi}} \sqrt{2gu}.$$

Hidravlik müqavimətləri nəzərə aldığımız üçün v_1 həqiqi sürət olacaqdır

$$\frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} = \varphi - \text{sürət əmsalı adlanır.}$$

$$v_n = \varphi \sqrt{2gH}.$$

İtkiləri nəzərə almasaq onda sürət nəzəri olacaq

$$v_n = \sqrt{2gH} \text{ (Torriçeli düsturu).}$$

Sərfin sabitlik tənliyinə görə həqiqi sərf

$$Q_h = \omega_c v_n = \varepsilon \omega \varphi \sqrt{2gH},$$

$\varepsilon \cdot \varphi = \mu$ - sərf əmsalı deyilir.

$$Q_h = \mu \omega \sqrt{2gH},$$

$$Q_H = \omega \sqrt{2gH},$$

$$\varphi = \frac{v_h}{v_H} < 1, \quad \mu = \frac{Q_h}{Q_H} < 1.$$

$$\varphi = 0,97, \quad \mu = 0,6.$$

Uzunluğu $l = (3 \div 5)d$ olan qısa borulara **lülək** deyilir. Lüləklər silindrik, konusvari və konoidal formada hazırlanır. Lüləklər daxili və xarici olurlar. Lüləklərdən yanğınsönür dörəklərdə, süni yağış yağdırıcılarda, fəvvarilərdə, kanalların dibinin təmizlənməsində bə s. istifadə olunur.

1. Silindrik lülə.

Lüləklərdə maye lüləsinin sıxılması daxilə olur. Maye xaric olduqda isə lülənin en kəsiyi maye ilə dolu axır.

$$\varepsilon = 1, \quad \varphi = \mu \text{ olur.}$$

Silindrik lülə üçün $\mu = 0,8$. Müqayisə göstərir ki, silindrik lülə mayeni təxminən 30% artıq buraxır.

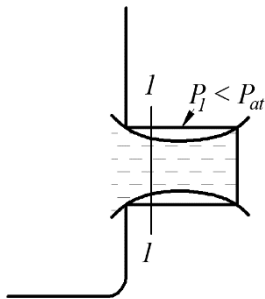
$$0,82 / 0,62 \approx 1,3.$$

Bu da 1-1 sıxılan kəsikdə vakuumun olmasına görədir.

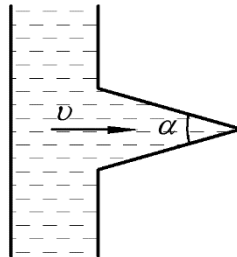
2. Konusvari lülələr səpəlayici və ???layəcə olur. θ - konusluq bucağıdır

$$\theta = 13^\circ 24' \text{ olarsa.}$$

$$\mu \text{ maksimum olur } \mu = 0,94.$$



Şəkil

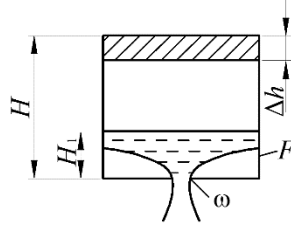


Şəkil

3. Konoidal lüləklər. Bunlar yarımşəhər formada hazırlanır. Çox çətin hazırlandığı üçün az istifadə olunur. $\mu = 0,96$.

Dəyişən basqıda mayenindeşəkdən axması

Bu halda hərəkət qərarlanmayan olur. Məsələnin həlli çətinləşir. Odur ki, məsələni həll etmək üçün sadə üsullardan istifadə edilir. Bunlardan biri elementar dt zamanda hərəkəti qərarlanan qəbul etməkdir. Həmin zamanda çəndənək mayenin həcmi Fdh -dir. F – cənin en kəsik sahəsidir; dh - elementar dt zamanda enən səviyyənin hündürlüyüdür.



Şəkil

dt zamanda hərəkəti qərarlanan qəbul etdiyimiz üçün çəndən xaric olan mayenin həcmi $\mu\omega\sqrt{2g}udt$ olacaq.

Hərəkəti qərarlanan qəbul etdiyimiz üçün çəndən mayenin həcmi, çəndən çıxan mayenin həcminə bərabər olmalıdır.

$$-FdH = \mu\omega\sqrt{2g}udt,$$

$$dt = -\frac{FdH}{\mu\omega\sqrt{2g}u}.$$

Çəndəki maye səviyyəsinin H -dan H_1 -ə enmə vaxtını tapmaq. Bunun üçün yuxarıdakı tənliyi diferensiallayaq.

$$t = -\int_H^{H_1} \frac{Fdu}{\mu\omega\sqrt{2g}H} = \int_{H_1}^H \frac{Fdu}{\mu\omega\sqrt{2g}H},$$

$$t = 2F \left(\frac{\sqrt{H} - \sqrt{H_1}}{\mu\omega\sqrt{2g}} \right).$$

Çənin həmin boşaltma vaxtını tapmaq üçün $H_1 = 0$ götürmək lazımdır.

$$T = \frac{2F\sqrt{H}}{\mu\omega\sqrt{2g}}.$$

μ -nün qiymətini sabit basqıda olduğu kimi götürülür. Bu düstur praktikada özünü doğruldur. Qərarlanan hərəkətdə çəndən FH həcmnin axma vaxtını tiyin edək

$$Q = \frac{W}{T_1}.$$

T_1 - qərarlanan hərəkətdə FH həcmnin axma vaxtəddər. Onda

$$T_1 = \frac{W}{Q}; \quad W = FH;$$

$$Q = \mu\omega\sqrt{2g}H;$$

$$T_1 = \frac{FH}{\mu\omega\sqrt{2g}H};$$

$$T_1 = \frac{F\sqrt{H}}{\mu\omega\sqrt{2g}}.$$

Qərarlanan hərəkət ilə qərarlanmayan hərəkəti müqayisə etsək

$$T > T_1; \quad T = 2T.$$

Deməli, qərarlanmayan hərəkətdə vaxt iki dəfə böyük olur.

Səviyyə altında mayenindeşikdən axması

0-0 və 1-1 kəsikləri üçün Bernulli tənliyini yazaq

$$H_1 + \frac{P_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \xi \frac{v_1^2}{2g};$$

$$P_1 = P_{at} + \gamma H_2;$$

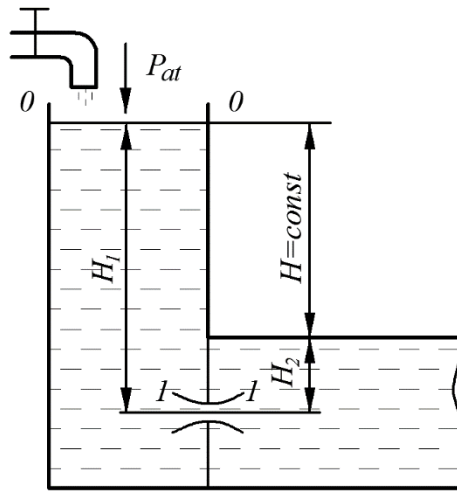
$$H_1 + \frac{P_{at}}{\gamma} = \frac{P_{at}}{\gamma} + H_2 + (\alpha_1 + \xi) \frac{v_1^2}{2g};$$

$$H = H_1 - H_2 = (\alpha_1 + \xi) \frac{v_1^2}{2g};$$

$$v_1 = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1 + \xi}} \sqrt{2gH};$$

$$v_1 = \varphi \sqrt{2gH};$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}.$$



Şəkil

Alınan düsturlar sabit basqıda mayenindeşikdən axması düsturlarla eynidir. Fərq ondan ibarətdir ki, orada H deşiyin ağırlıq mərkəzinə düşən basqıdır. Burada isə səviyyələr fərqi.

Boru kəmərləri

Eyni və müxtəlif diametrli və uzunluqlu boruların birləşməsinə **boru kəməri** deyilir. Boru kəməri mayeni nəql etmək üçün istifadə olunur. Boru kəmərləri sadə və mürəkkəb olurlar. Mayenin bir məntəqədən yalnız başqa bir məntəqəyə nəql edən boru kəmərinə sadə boru kəməri deyilir. Mayeni məntəqəyə bir neçə məntəqəyə nəql edən boru kəmərinə **mürəkkəb boru kəməri** deyilir.

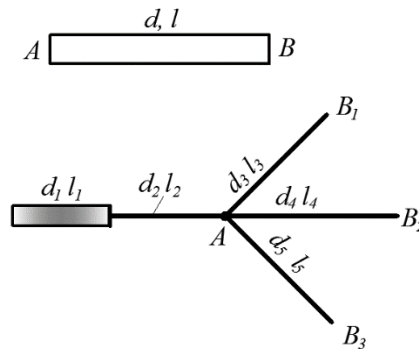
Boru kəmərləri qısa və uzun olurlar. Əgər

$$\frac{l}{d} \leq 100 \text{ olarsa.}$$

Belə borulara **qısa borular** deyilir

$$\frac{l}{d} \geq 100 \text{ olarsa uzun borudur.}$$

Məsələn, Bakı-Batumi neft kəməri uzundur.



Şəkil

Nasosun sorma borusu hidravlik ötürmənin boruları qısa borulara aiddir. Şollar-Nasosnu su kəməri sadə boru kəməridir.

Şəhər su kəməri mürəkkəb boru kəməridir. Boru kəmərləri borudan vurulan mayenin adı ilə adlanır.

Sadə boru və mürəkkəb boru kəmərləri uzun boru kəmərlərinə aiddir. Uzun boru kəmərlərində əsasən sürtünmə müqaviməti olur. Qısa boru kəmərlərində isə yerli müqavimətlər olur. Ona görə də uzun boru kəmərləri sürtünmə müqavimətinə görə hesablanırlar. Yerli müqavimətlər isə sürtünmə müqavimətinin 5 – 10%-i qədər götürülür.

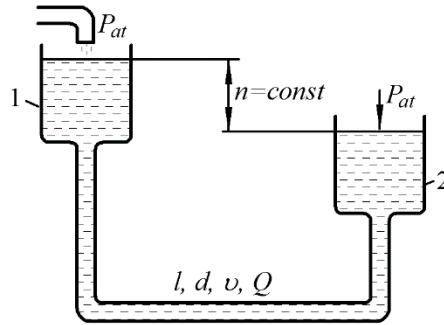
Sadə boru kəmərləri hidravlik hesabı

Maye birinci çənindən ikinci çəninə sadə boru kəməri ilə nəql edilir.

Birinci və ikinci çənlərinin sərbəst səthləri üçün Bernulli tənliyini yazaq

$$H + \frac{P_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = 0 + \frac{P_{at}}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + H_w;$$

$$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \approx \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \approx 0.$$



Şəkil

Deməli səviyyələr fərqi tamamilə hidravlik müqavimətlərin dəf olunmasına sərf olunur. Sadə boru kəmərləri uzun boru kəmərlərinə aid olduğu üçün yerli itkiləri uzunluq itkilərinin 10%-i qədəri götürmək olar.

$$H = H_w = he + hj = 1,1he .$$

he - Darsi-Veysbax düsturu ilə tapırlar.

$$he = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} .$$

Buradan sürəti tapaq

$$v = \sqrt{\frac{he \cdot \alpha \cdot 2g}{\lambda l}} .$$

$$\frac{he}{l} = J - \text{hidravlik maillikdir.}$$

$d = 4R$ - R - hidravlik radiusdur.

$$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{RJ}$$

$\sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = C$ - hərfi ilə işarə edək. Onda $v = C\sqrt{RJ}$ - **Şezi düsturu** deyilir.

C - Şezi əmsalı adlanır. Kvadratik zonada C -ni aşağıdakı Pavlovskinin düsturu tapmaq olar

$$C = \frac{1}{n} R^y$$

n – borunun daxili divarının kələ-kötürlülüynü xarakterizə edən əmsaldır. y - R və n -dən asılıdır.

Əgər $R > 1$ m olarsa $y = 1,3\sqrt{n}$.

Əgər $R < 1$ molsa $y = 1,5\sqrt{n}$.

Qalan zonalarda C -ni λ -ya görə tapmaq lazımdır.

Verilmiş l uzunluğunda və n kələ-kötürlülüynə boru kəmərlərinin hesabasında aşağıdakı üç hala təsadüf olunur.

I hal. $H_1 d$ verilir. $Q = ?$

Sərfin sabitlik tənliyinə görə

$$Q = \omega v = \omega C \sqrt{R} \sqrt{J} ,$$

$\omega C\sqrt{R} = K$ - ilə işarə edək. Onda $Q = K\sqrt{J}$.

Əgər $J = 1$ olsa $Q = K$ olar.

Deməli K – vahid hidravlik maillikdəki sərfdir. Buna **boru kəmərinin** xarakteristikası deyilir. K -nın ölçü vahidi, sərfin ölçü vahidi kimidir.

II hal. d , Q verilir: $H = ?$

d – borunun diametri; Q – sərf; H – asqıdır (bory kəmərinin başlanğıcında yaranan təzyiq hündürlüyüdür)

$$J = \frac{Q^2}{K^2} \text{ digər tərəfdən } J = \frac{H_W}{l} = \frac{he}{l} = \frac{H}{l}.$$

Əgər $Q = 1$ olsa $\frac{l}{K^2} = H = H_W$ yəni $\frac{l}{K^2}$ vahid sərfdəki hidravlik müqavimətdir. Buna bory kəmərinin xüsusi müqaviməti deyilir.

III hal – Q , H verilir $d = ?$

d -ni tapmaq üçün $K = f(d)$ asılılığını qurmaq lazımdır. Bunun üçün d -yə qiymətlər verərək k -nı belə tapırlar

$$K = \omega C\sqrt{R} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{1}{n} \left(\frac{d}{4}\right)^{1,3\sqrt{n}} \cdot \left(\frac{d}{4}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

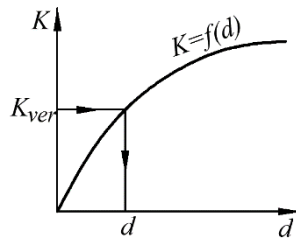
Sonra qrafik qurulur. **Şəkil**dəki kimi.

Sonra verilmiş Q və H -a

görə $H = \frac{l}{K^2} Q^2$ düsturundan

K tapılır $K_{ver} = Q\sqrt{\frac{l}{H}}$.

K_{ver} -ə görə qrafikdən d tapılır.



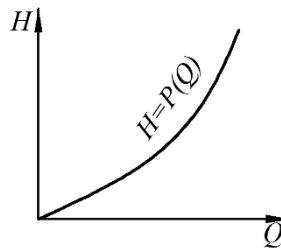
Şəkil

Mürəkkəb boru kəmərlərinin hidravlik hesabı

Mayeni bir məntəqədən bir neçə məntəqəyə nəql edən boru kəmərlərinə **mürəkkəb boru kəmərləri** deyilir. Mürəkkəb boru kəmərləri ardıcıl, parallel və yaxud həm ardıcıl və həm də parallel birləşə bilirlər. Boru kəmərlərini qrafiki də hesablayırlar. Bunun üçün $H = f(Q)$ funksiyasını qurmaq lazımdır. Bu funksiyanı

$H = \frac{l}{K^2} Q^2$ düsturundan istifadə

edib qurmaq olar. Onda bu funksiyanın qrafikası **Şəkil**dəki kimi olacaqdır. **Şəkil**dən görünür ki, $H=f(Q)$ funksiyası təpəsi koordinat başlanğıcında olan paraboladır.



Şəkil

I. *Mürəkkəb boru kəmərlərinin ardıcıl birləşməsi.* Bu zaman sərf sabit olur. Xüsusi müqavimətlər toplanır

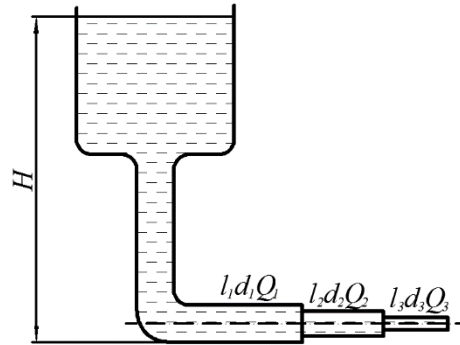
$$Q = \text{const.}$$

$$H = h_{e1} + h_{e2} + h_{e3}$$

$$h_{e1} = \frac{l_1}{K_1^2} Q^2;$$

$$h_{e2} = \frac{l_2}{K_2^2} Q^2;$$

$$h_{e3} = \frac{l_3}{K_3^2} Q^2.$$



Şəkil

H - ümumi basqıdır və ya ona tələb olunan basqı deyilir.

$$H = Q^2 \left(\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} + \frac{l_3}{K_3^2} \right) \text{ və ya } H = Q^2 \sum \frac{l}{K^2}$$

Ardıcıl birləşən boru kəmərlərini qrafiki hesablamaq üçün hər boru kəmərinin ayrılıqda xarakteristikasını qurmaq lazımdır. Ümumi xarakteristikasını almaq üçün eyni Q -lü nöqtələrin h -lərini toplamaq lazımdır.

II. *Mürəkkəb boru kəmərlərinin parallel birləşməsi.*

A nöqtəsindəki basqını

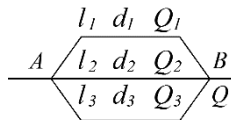
H_1 , B nöqtəsindəki basqını H_2

ilə işarə etsək onda A və B

nöqtələri arasındakı basqılar

fərqi

$$H = H_1 - H_2 \text{ olacaqdır.}$$



Şəkil

II birləşmədə

$$H = h_{e1} = h_{e2} = h_{e3} \text{ olur.}$$

Yəni hidravlik müqavimət II birləşən borularda eyni olur. Onda yazı bilərik

$$H_1 = he_1 = \frac{l_1}{K_1^2} Q_1^2;$$

$$H_2 = he_2 = \frac{l_2}{K_2^2} Q_2^2;$$

$$H_3 = he_3 = \frac{l_3}{K_3^2} Q_3^2.$$

Buradan Q_1 , Q_2 , Q_3 -ü tapaq

$$Q_1 = \frac{K_1}{\sqrt{l_1}} \sqrt{H};$$

$$Q_2 = \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} \sqrt{H};$$

$$Q_3 = \frac{K_3}{\sqrt{l_3}} \sqrt{H}.$$

II birləşmədə ümumi sərf ayrı-ayrı borulardakı sərlərin cəminə bərabər olur. Yəni

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3.$$

Q -lərin qiymətlərini yerinə yazsaq

$$Q = \sqrt{H} \left(\frac{K_1}{\sqrt{l_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} + \frac{K_3}{\sqrt{l_3}} \right)$$

və yaxud

$$H = \frac{1}{\left(\frac{K_1}{\sqrt{l_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} + \frac{K_3}{\sqrt{l_3}} \right)^2} Q^2.$$

II birləşmiş boru kəmərlərini qrafiki hesablamaq üçün hər boru kəmərinin xarakteristikasını ayrılıqda qurmaq lazımdır. Sonra ümumi xarakteristikanı almaqdan ötrü eyni H -lı nöqtələrin Q -lərini toplamaq lazımdır.

III. *Şaxəli mürəkkəb boru kəməri* (həm ardıcıl və parallel birləşmə).

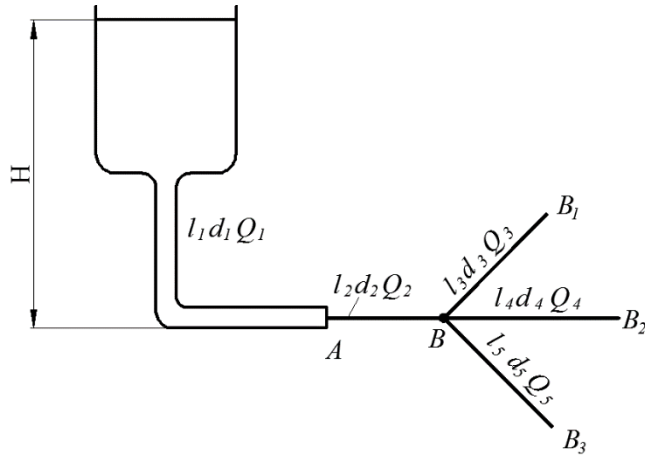
B_1 , B_2 , B_3 məntəqələrində təzyiq eynidir və atmosfer təzyiqinə bərabərdir. A , B_1 , B_2 , B_3 məntəqələrinin həndəsi hündürlükləri eynidir. A və B məntəqələrindən keçən mayenin miqdarı eynidir.

BB_1 , BB_2 , BB_3 məntəqələrindəki hidravlik müqavimətlər eyni olacaqdır. Yəni,

$$he_3 = he_4 = he_5.$$

Ümumi sərf isə

$$Q = Q_3 + Q_4 + Q_5.$$



Şəkil

Həmin məntəqələrindəki hidravlik müqavimətlər aşağıdakı olacaqdır

$$he_3 = \frac{l_3}{K_3^2} Q_3^2;$$

$$he_4 = \frac{l_4}{K_4^2} Q_4^2;$$

$$he_5 = \frac{l_5}{K_5^2} Q_5^2.$$

Buradan

$$Q_3 = \frac{K}{\sqrt{l_3}} \sqrt{he_3};$$

$$Q_4 = \frac{K_4}{\sqrt{l_4}} \sqrt{he_4};$$

$$Q_5 = \frac{K_5}{\sqrt{l_5}} \sqrt{he_5}.$$

Bu qiymətləri $Q = Q_3 + Q_4 + Q_5$ düsturunda yerinə yazıb

$he_3 = he_4 = he_5$ olduğunu nəzərə alaraq alırıq

$$Q = \left(\frac{K_3}{\sqrt{l_3}} + \frac{K_4}{\sqrt{l_4}} + \frac{K_5}{\sqrt{l_5}} \right) \sqrt{he_4} \quad \text{və yaxud}$$

$$he_4 = \frac{1}{\left(\frac{K_3}{\sqrt{l_3}} + \frac{K_4}{\sqrt{l_4}} + \frac{K_5}{\sqrt{l_5}} \right)^2} Q^2.$$

Şəxəli boru kəmərlərinin hesabasında yuxarıdakı qayda ilə əvvəlcə paralel birləşən boruların hesabatını aparırlar. Sonra isə bütün boruları ardıcıl birləşdirirlər. Onda ümumi basqı aşağıdakı kimi tapılır

$$H = he_1 + he_2 + he_4$$

he_1 və he_2 -ni aşağıdakı kimi tapırlar

$$he_1 = \frac{l_1}{K_1^2} Q^2;$$

$$he_2 = \frac{l_2}{K_2^2} Q^2.$$

he_1 , he_2 və he_4 -ün qiymətlərini yerinə yazaq

$$H = \left(\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} + \frac{1}{\frac{K_3}{\sqrt{l_3}} + \frac{K_4}{\sqrt{l_4}} + \frac{K_5}{\sqrt{l_5}}} \right) Q^2$$

buradan Q -nü belə tapmaq olar:

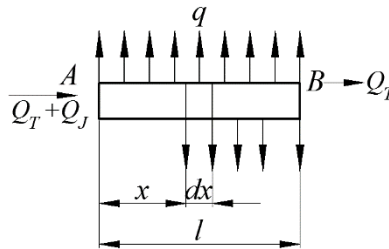
$$Q = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{\frac{l_1}{K_1^2} + \frac{l_2}{K_2^2} + \frac{1}{\left(\frac{K_3}{\sqrt{l_3}} + \frac{K_4}{\sqrt{l_4}} + \frac{K_5}{\sqrt{l_5}} \right)^2}}}.$$

Şaxəli boru kəmərlərinin hesabasında da onların ayrı-ayrı boruların xarakteristik əyrilərini qururlar. Sonra birləşən boruların xarakteristikalarını toplayıb alınan əyrini ardıcıl birləşmədə olduğu kimi hesabat aparırlar.

Uzunluğu boyunca mayenin fasiləsiz paylanması boru kəmərinin hesabı.

Fərz edilir ki, maye hər yerdə eyni paylanır. q – vahid uzunluqda fasiləsiz paylanan mayenin miqdarıdır. Onda yolda paylanan mayenin miqdarı $Q_j = q \cdot l$.

B məntəqəsindən sonrakı məntəqələrə paylanan mayenin miqdarı Q_T - buna **tranzit sərfi** deyilir.



Şəkil

Onda A nöqtəsindən keçən mayenin miqdarı $Q_T + Q_l$ olacaqdır. A və B məntəqələri arasındakı hidravlik müqaviməti tapmaq üçün başdan x məsafəsində dx məntəqəsini götürək, həmin məntəqədəki hidravlik itki

$$he = \frac{l}{K^2} Q^2$$

düsturuna görə aşağıdakı kimi olacaqdır.

$$dhe = \frac{1}{K^2} [Q_T + (l - x)q]^2 dx.$$

dx məntəqəsindən Q_T tranzit sərfi və $(l - x)q$ yoldakı sərf keçəcəkdir. Odur ki, dx məntəqəsindən keçən mayenin miqdarı

$$Q_T + (l - x)q \text{ olacaqdır.}$$

l uzunluğundakı hidravlik itkini hesablamaq üçün yuxarıdakı düsturu diferensilayaq

$$he = \frac{1}{K^2} \int_0^T [Q_T + (l-x)q]^2 dx.$$

İnteqralın nəticəsi aşağıdakı kimi olacaqdır

$$he = \frac{l}{K^2} \left(Q_T^2 + Q_T \cdot Q_J + \frac{1}{3} Q_J^2 \right).$$

Əgər tranzit sərfi olmasa, yəni $Q_T = 0$ olsa

$$he = \frac{1}{3} \frac{l}{K^2} Q_J^2.$$

Deməli, yolda mayenin fasiləsiz paylanmasında hidravlik müqavimət üç dəfə az olur

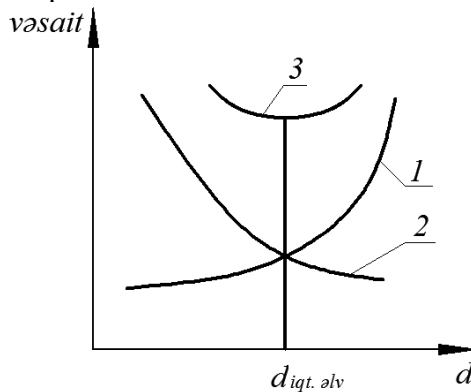
$$Q_T^2 + Q_T \cdot Q_J + \frac{1}{3} Q_J^2 = (Q_T + 0,55 Q_J)^2.$$

$(Q_T + 0,55 Q_J)^2 = Q_h$ - **hesabi sərf** adlanır. Onda

$$he = \frac{l}{K^2} Q_h^2.$$

Boru kəmərlərinin iqtisadi hesablanmasıdan qısa məlumat

Boru kəmərlərinin çəkilməsində əsas xərclər borulara sərf olunur. Odur ki, boru kəmərlərinin diametrinin seçilməsi düzgün olmalıdır. Əgər boru kəmərinin diametri böyük seçilərsə, metal çox olar, deməli çəkmə xərcləri çox azdır. Əgər boru kəmərinin diametri kiçik seçilərsə metal az sərf olunur, lakin mayenin sürəti çox olduğu üçün hidravlik müqavimət çox alınacaq. Bu da güclü nasos stansiyalarının qurulmasına səbəb olacaq ki, kələcəkdə istismar xərclərini artıracaq odur ki, eləbir iqtisadi cəhətdən əlverişli diametr seçmək lazımdır ki, həmin diametrdə həm boru kəmərinin çəkmə xərcləri və həm də istismar xərcləri minimum olsun. Bunun üçün boru kəmərinin diametrinə müxtəlif qiymətlər verilərək həm boru kəmərinin çəkilmə xərcləri və həm də istismar xərcləri hesablanır. Sonra qrafik qurulur.



Şəkil

1- əyrisiboru kəmərinin çəkilməsinə sərf olunan vəsaitin diametrdən asılılığını ifadə edir. 2 - əyrisi isə kəmərinin istismarına sərf olan vəsaitin diametrdən asılılığını ifadə edir. 3 - əyrisi isə cəm əyridir. 3-cü əyrinin minimum qiymətinə uyğun olan diametr iqtisadi əlverişli diametr hesab olunur. Son zamanlar aparılan tədqiqatlar göstərir ki əgər borudan axan mayenin sürəti 1 san olarsa onda həmin borunun diametrini iqtisadi cəhətdən əlverişli hesab etmək olar.

Odur ki, U_q diametri təxmini olaraq

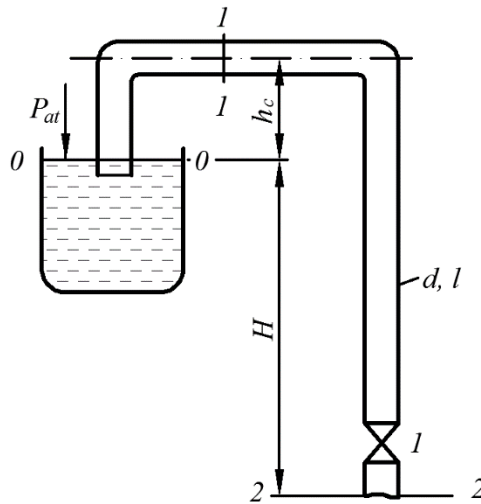
$$d_{q/q.əvv} = 1,13\sqrt{Q} \text{ götürülür}$$

$$v = 1 \text{ m/san}; \quad Q = m^3/\text{san}; \quad d = m.$$

Sifon boru kəməri

Sifon boru kəmərinə boru kəmərinin müəyyən hissəsi maye yerləşən qabda yuxarıda olur. Onun müsbət cəhəti ondan ibarətdir ki, torpaq işləri az görülür maye götürülən çən zədələnmir. Sifonun mənfi cəhəti ondan ibarətdir ki, o birinci dəfə mayeni sora bilmir. Onun içərisində maye ilə doldurmaq lazımdır. Bunun üçün vakuum nasosdan istifadə etmək olar. Sifonun ən hündür nöqtəsinin (1-1 kəsiyi) cəndəki maye səviyyəsindən olan məsafəsinə **sifonun hündürlüyü** deyilir (h_c). h_c -ni tapmaq üçün 0-0 və 1-1 kəsikləri üçün Bernulli tənliyini yazaq

$$\frac{P_{at}}{\gamma} = h_c + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + H_{W 0-1}.$$



Şəkil

Sifonun normal işləməsi üçün

$$P_{at} > P_1 > P_{iyx} \text{ olmalıdır.}$$

P_{iyx} - mayenin buxarlanma təzyiqidir

$$h_c = \frac{P_{at} - P_1}{\gamma} - \frac{v^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta_1 \right).$$

$l_1 - 1 - 1$ kəsiyinə qədər sifonun uzunluğu $\sum \zeta_1$ $1 - 1$ kəsiyinə qədər yerli müqavimət əmsallarının cəmidir.

$$\frac{P_{at} - P_1}{\gamma} = h_{vak} = 10 \text{ m vakuummetrik hündürlükdür.}$$

Praktikada $h_{vak} = 7 - 8 \text{ m}$ götürülür. Onda $h_c = 5 - 6 \text{ m}$ olur.

Sifonlardan dəmiryol sistemlərində mayeni boşaltmaq üçün istifadə edilir. Sifonun sərfini tapmaq üçün $0 - 0$ və $2 - 2$ kəsikləri üçün Bernulli tənliyini yazsaq

$$H = \frac{v^2}{2g} + H_{W 0-2} = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \frac{\lambda l}{d} + \sum \zeta \right),$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}} \cdot \sqrt{2gH},$$

$$Q = \omega \cdot v.$$

v -nin qiymətini yerinə yazsaq

$$Q = \frac{\omega}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}} \cdot \sqrt{2gH},$$

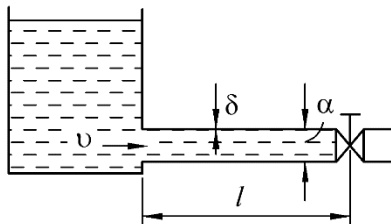
$$\frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta}} = \mu - \text{sərf əmsal}{\text{ıdır. Onda}}$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}.$$

Borularda hidravliki zərbə

Borularda axan mayenin sürətinin qəflətən azalması və yaxud artması nəticəsində təzyiqin artıb azalması müşahidə olunur ki, buna da **hidravlik zərbə** deyilir.

Əks halda **mənfi hidravliki zərbə** deyilir. Müsbət hidravliki zərbə zamanı təzyiq on və hətta yüz dəfələrlə artır. Bu zaman maye sıxılır. Boru kəməri genişlənir (deformasiya edilir). Əgər boru kəməri bu yüksək təzyiqə hesablanmayıbsa. Onda o partlaya bilər. Hidravlik zərbə zamanı boruda mayenin hərəkəti qərarlanmayan olur.



Şəkil

Kranı qəflətən bağladıqda $v = 0$ olur. Maye dayanır. Kinetik enerji sıfır olur. Potensial enerji artır, yəni təzyiq artır. Hidravlik zərbə yaranır. Maye sıxılır. Boru kəməri genişlənir. Bu hadisə bilavasitə kran tərəfdə baş verir. Sonda başqa maye təbəqəsi dayanır orada təzyiq artır. Maye

sıxılır, boru kəməri genişlənir. Təzyiqin artması təbəqədən təbəqəyə ötürülərək çənə çatır. Əgər maye eyni cinslidirsə və boruda eyni cinslidirsə təzyiqin artması hər hansı C sürətiylə yayılır. C -yə zərbə dalğasının **yayılma sürəti** deyilir. Onda

$$t = \frac{l}{C}$$

Zamanda sonra zərbə dalğası çənə çatacaq. Bu zaman borudakı maye yüksək təzyiq altında sıxılmış vəziyyətdə olacaq. Çənin həcmi böyük olduğu üçün orada zərbə olmayacaq. Odur ki, maye borudan çənə doğru hərəkət edəcək, təzyiq enəcək

$$T = 2t = \frac{2l}{C}$$

zamandan sonra borudakı maye zərbədən əvvəlki təzyiq və sürətini bərpa edəcək. Lakin hərəkətin istiqaməti çənə doğru olacaq. Odur ki, kran tərəfdə təzyiq normal təzyiqdən də aşağı düşəcək. $3t$ -dən sonra borudakı mayenin təzyiqi normal təzyiqdən aşağı olacaq. Çəndəki maye kran vəziyyətdədir. Onda maye kran tərəfə itələnəcək borudakı mayenin təzyiqi qalxacaq. Maye krana tərəf hərəkət edəcək

$2T = 4t$ -dən sonra borudakı maye zərbədən əvvəlki sürət və təzyiqini bərpa edəcək. Əgər kran bağlı olsa yuxarıda deyilənlər məkrar olunacaq. Boru kəməri tab gətirsə sürtünmə qüvvələrinin təsiri nəticəsində zərbə öz özünə sönməlidir. Nasosları da qəflətən saxladıqda hidravliki zərbə əmələ gəlir. ***Tzərbənin fazası*** adlanır, $2T$ – ***periodu*** adlanır. Deməli bir fazada borudakı maye yüksək təzyiq altında ikinci fazada isə alcaq təzyiq altında olur. Zərbədə yaranan artıq təzyiqi tapmaq üçün Jukovski aşağıdakı düsturu verilmişdir

$$\Delta P = P_{zərbə} \cdot P = C \rho v.$$

ρ və v mayenin zərbədən əvvəlki sıxlığı və sürətidir. Zərbə dalğasının yayılma sürətini aşağıdakı düsturlar tapmaq olar

$$C = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{dE_0}{\delta E}}},$$

E_0 - mayenin elastiklik modulu, E boru materialının elastiklik moduludur

$$\sqrt{\frac{E_0}{\rho}} = a - \text{səsin mayədə yayılma sürətidir. Su üçün } a = 1430 \text{ m/san.}$$

$$\text{Su üçün } E_0 = 2 \cdot 10^3 \text{ Pa.}$$

$$\text{Polad üçün } E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$$

$$\text{Təxminən } C \approx 1050 \div 1350 \text{ m/san.}$$

$$\text{Əgər } v = 1 \text{ m/san olsa, belə halda}$$

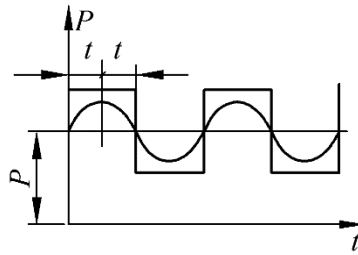
$$\Delta P = 10 \text{ atm} = 1 \text{ MPa.}$$

Kranın bağlanma vaxtını T_{kr} ilə işarə etsək

$T_{kr} < T$ olsa buna **düz zərbə** deyilir. Bu qısa borularda kranın tez bağlanmasında alınır. Yuxarıdakı düsturlar düz zərbə üçündür. $T_{kr} > T$ olarsa bu **qeyri düz zərbə** adlanır. Qeyri düz zərbə uzun borularda kranın yavaş bağlanmasında alınır. Bu zaman yaranan artıq

$$\Delta P = C \rho v \frac{T}{T_{kr}} \text{ tapmaq olar.}$$

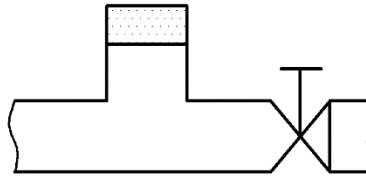
Sonralar aparılan tədqiqatlar Jukovskinin nəzəriyyəsinin doğru olduğunu göstərilməmişdir.



Şəkil

Şəkildə təzyiqin zamandan asılı olaraq dəyişməsi göstərilmişdir. Zərbənin qarşısını almaq üçün bir çox üsullar vardır. Onlardan biri bağlayıcıları yavaş açıb bağlamaq lazımdır.

II üsul bağlayıcılardan qabaq hava qübbəsi qoyulur.

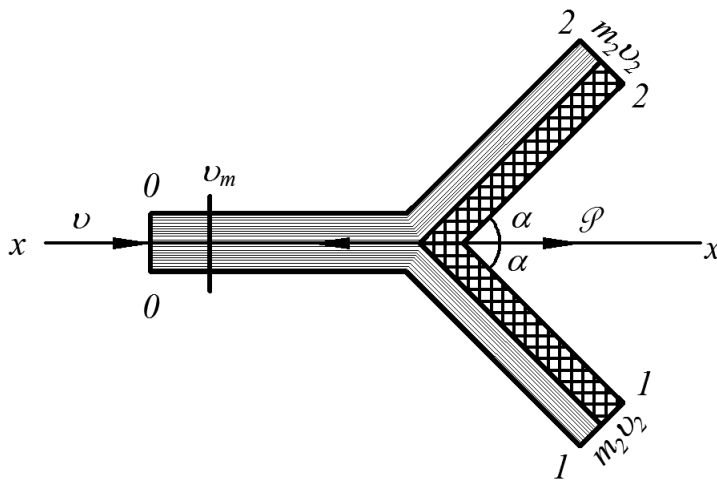


Şəkil

Hidravlik zərbə prinsipi ilə işləyən maşına **taran** deyilir. Hidravlik taran vasitəsilə mayeni müəyyən hündürlüyə vurmaq olar.

Şırnağın səthlərə dinamik təsiri

Lüləklərdən xaric olan şırnaqlar vasitəsilə kanalların dibini yumaq və s. üçün istifadə olunur. Odur ki, şırnağın dinamik təsirini tapmaq lazımdır.



Şəkil

R – divarın reaksiyasıdır. $\mathcal{P}$ - mayenin səthə etdiyi təsir qüvvəsidir

$$\mathcal{P} = -R.$$

Hərəkət miqdarının dəyişməsi qanunundan istifadə edək
 $(m_1 v_1 \cos \alpha + m_2 v_2 \cos \alpha) - m v = R.$

Qəbul etmək olar ki

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 = \frac{1}{2} m v,$$

$$m v - m v \cos \alpha = -P,$$

$$\mathcal{P} = m v (1 - \cos \alpha).$$

Bir neçə xüsusi hala baxaq.

I. Fərz edək ki, səthin x oxu ilə yarandığı bucaq 90° -dir.

$\alpha = 90^\circ$, $\cos \alpha = 0$ olacaq.

$\mathcal{P} = m v$ vahid zamandakı kütlə $m = \rho Q$

$$\mathcal{P} = \rho Q v.$$

Sərfin sabitlik tənliyinə görə

$$Q = \omega v,$$

$$\mathcal{P} = \rho \omega v^2.$$

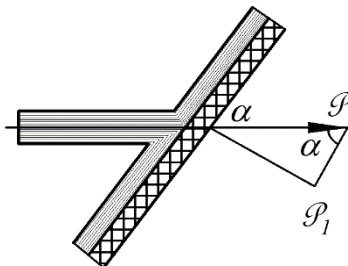
Əgər səth u sürətilə şırnaq istiqamətində hərəkət edərsə, onda nisbi sürət götürmək lazımdır

$$\mathcal{P} = \rho \omega (v - u)^2.$$

Əgər səth şırnağın əksinə hərəkət edərsə, onda

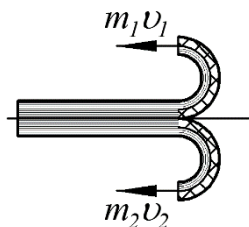
$$\mathcal{P} = \rho \omega (v + u)^2.$$

II hal. Şırnaq səth ilə hər hansı bir α bucağı təşkil edir



Şəkil

III. hal. Bu halda qüvvə iki dəfə artır alınır



Şəkil

$$\alpha = 90^\circ,$$

$$\cos \alpha = -1,$$

$$\mathcal{P} = 2\rho Qv,$$

$$\mathcal{P} = 2\rho\omega v^2.$$

Odur ki, turbinləri bu formada hazırlayırlar.