

HIDRAVLİKA, HIDRAVLİK MAŞINLAR VƏ HIDRSVLİK ÖTÜRMƏLƏR

Hidravlika elmi və onun mexanikada rolu

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

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

Hidravlika fizika, riyaziyyat, nəzəri mexanika və başqa elmlərlə sıx əlaqədədir. Hidravlika qədim bir elmdir. Ondən 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 apııcı mütəxəssislər böyük rol oynayırlar. Neft hidravlikası sahəsində akademik A. Mirzəcanzadənin apdığı tətqiqatlar xüsusi yer tutur.

Mayelərin fiziki xassələrindən qısa məlumat

Mayelər 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. Mayelər kiçik bir qüvvə təsiri altında hissələrinə parçalanmayaraq hərəkət edirlər. Yəni, mayelər axma qabiliyyətinə malikdirlər. Bərk cisimlərindən fərqli olaraq mayelər müəyyən bir formaya malik olmurlar, onlar yerləşdiyi qabın formasını alırlar. Qazlardan fərqli olaraq mayelər praktiki olaraq sıxılırlar. Mayelər toxunan qüvvələrinə qarşı müqavimət göstərir. Bunun nəticəsində mayenin özlülüyü meydana çıxır.

Mayelər əsasən iki yerə bölünürlər:

- 1) ağır damcılı mayelər (su, neft, neft məhsulları);
- 2) qazvari mayelər (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 həcmnin çəkinə **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 həcmnin kütləsinə **sıxlıq** deyilir.

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

20°C 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 göstərmən 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.

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

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

Deməli, 1 atm. təzyiq artdıqda, həcm əvvəlki həcmənin $\frac{1}{20000}$ 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

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

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

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

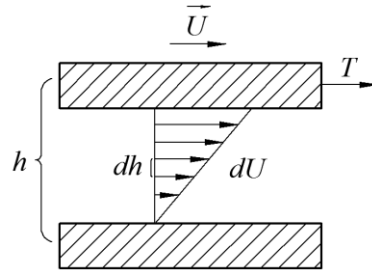
Mayelərin özlülüyü

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.



Şəkil

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

Təbiiq 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 özlülüyn fiziki mənasıdır. Ölçü vahidini tapaq

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

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

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

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

$$4^\circ\text{C temperaturda saf suyun dinamik özlülüüyü} \\ \mu = 0,01 P = 0,001 Pa \cdot \text{san}.$$

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

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

Suyun kinematik özlülüüyü

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

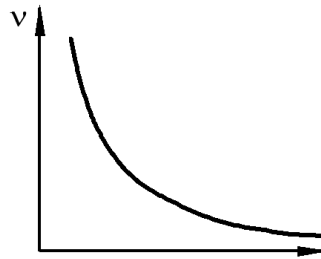
Temperatur artdıqca özlülük azalır. Əgər temperatur $0 \div 100$ artarsa su üçün özlülük 7 dəfə azalır.

Bundan başqa nisbi özlülük də vardır. Məsələn, Enqler 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 mayələrə **qeyri-nyuton mateləri** deyilir. Məsələn, gil, sement məhsulları, kolloid məhlullar. Bu mayələrdə sükünət halındada daxili gərginlik müşahidə olunur. Bu mayələr üçün daxili sürtünmə qanunu aşağıdakı kimi yazılır

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



Şəkil

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

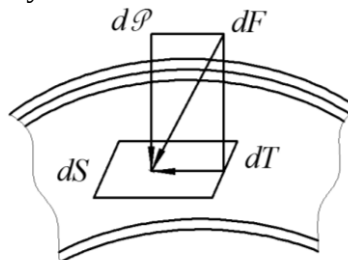
Alınan nətiçələr praktikada özünü doğruldur. Hidravlikada ideal maye anlayışından geniş istifadə olunur. Lakin ideal mayələr üçün çıxarılan düsturlar həqiqi mayələrə tətbiq olunduqda onlara müəyyən düzəlişlər olunmalıdır. Bu düzəlişlər əsasən özlülüyə əsasən aparılır.

Mayələrə 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 götürək. 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

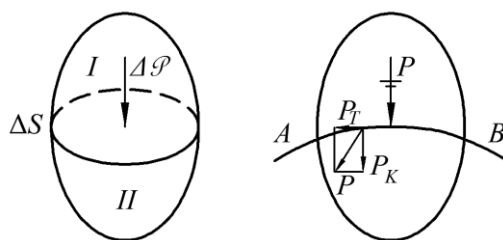
Hidrostatika və onun xüsusiyyətləri

Hidrostatika mayelərin müvazinət qanunlarından və bu qanunların təcrübəyə tədqiqindən 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.

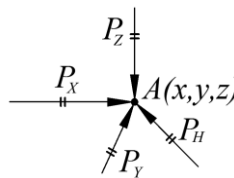


Şəkil

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 çəhətlərindən asılı olmayıb tətbiq olunduğu nöqtənin koordinatdan asılıdır

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

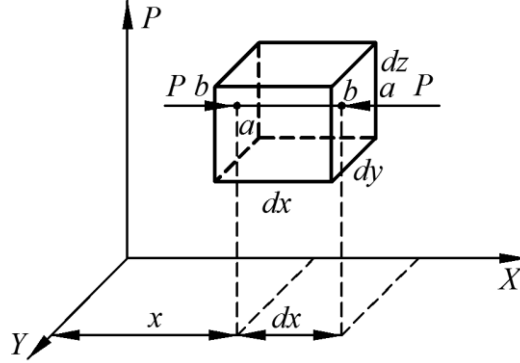


Şəkil

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

Hidrostatikanın differensial tənlikləri

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



Şəkil

Paralelepiped həcmi qüvvə səthi qüvvələrdən isə təzyiq qüvvəsi təsir edir. Differensial tənlikləri çıxarmaq üçün Dəlamber prinsipini tətbiq edirik. Bu prinsipə görə **par-din** müvazinətdə olması üçün ona təsir edən qüvvələrin hər hansı ox üzərindəki proyeksiyalarının 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

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

$$dP_{a_1b_1} = \left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx \right) dydz. \quad (3)$$

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

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

(2), (3), (4)-ü (1)-də yerinə yazaq

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

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

Bu tənliyi vahid kütlə üçün yazmaq yəni onun hər həddini $\rho dx dydz$ -ə bölək

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

Analoji olaraq yazmaq 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

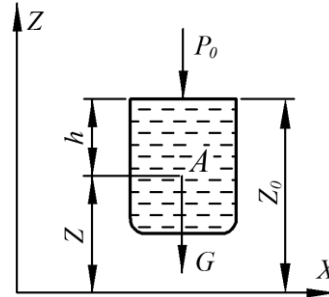
$$dP = \frac{\partial P}{\partial x} dx + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial z} dz,$$

$$dP = \rho(Xdx + Ydy + Zdz). \quad (6)$$

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.

1 və 2 nöqtələrindəki tam təzyiqlər

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

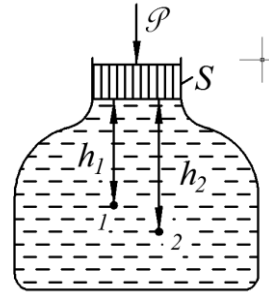
$\mathcal{P}$ təzyiqini $\Delta \mathcal{P}$ qədər aptıraq. Onda sərbəst səthdəki təzyiqdə

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

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

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

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

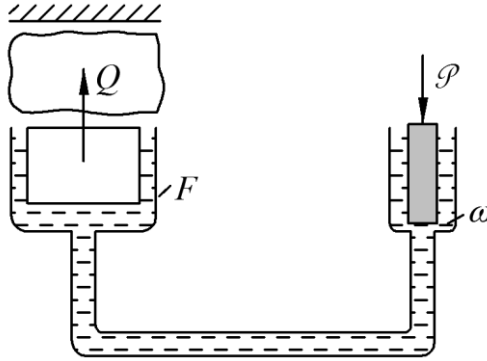


Şəkil

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 porşənə verilir. İkinci porşəndə 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.

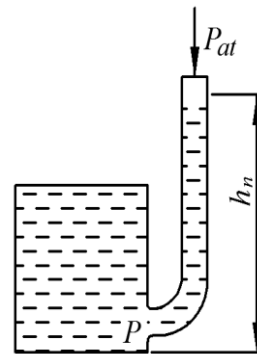
Pyezometr diametri 5-10 mm olan şüşə borulardan hazırlanır. Onun bir tərəfi açıq olur, digər tərəfi isə təzyiq ölçülən yerlə əlaqələndirilir.

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

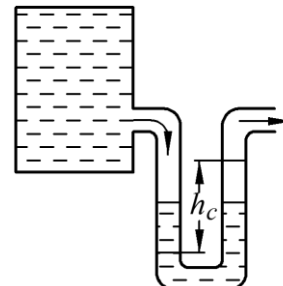
$$h_n = \frac{P - P_{atm}}{\gamma} = \frac{P_{art}}{\gamma}.$$

h_n - **pyezometrik hündürlük** adlanır.

Pyezometrlə 0,3 atm-ə qədər təzyiqləri ölçürlər. Bundan çox olan təzyiqləri manometrlə ölçürlər. Manometrlər iki növ olur: *mayelli* və *mexaniki*.

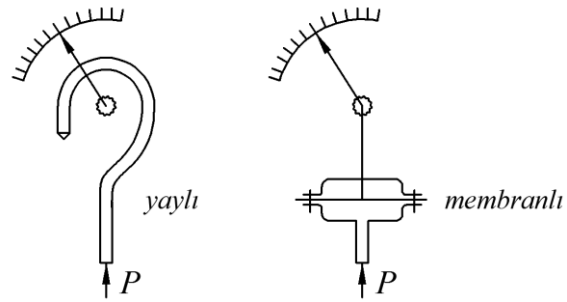


Şəkil



Şəkil

Mayelli manometrlər şüşə borulardan U-şəklində hazırlanır.

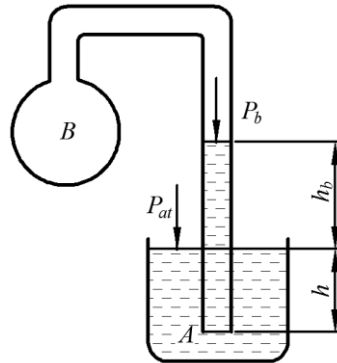


Şəkil

Maye olaraq civədən istifadə olunur

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

Mayeli manometrlə 1 atm-ə qədər təzyiqləri ölçürlər. On-dan 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

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

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

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

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

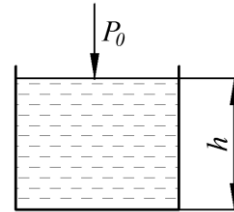
h_B - vakuummetrik hündürlük adlanır.
Monovakuummetrlərdə olur.

Müstəvi səthlərə düşən təzyiq qüvvəsi

1) Qabın dibinə düşən təzyiq qüvvəsi.

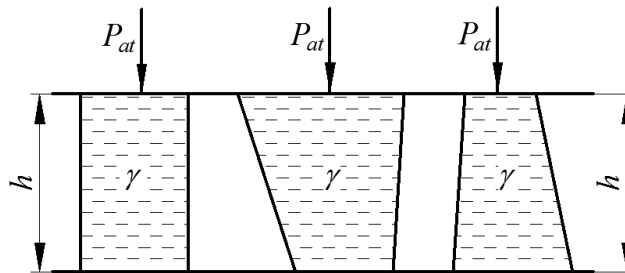
Qabın dibi üfqi və müstəvi şəklindədir. Onda onun oturacağına bütün nöqtələrində təzyiq eyni olacaq. Onda dibin istənilən nöqtəsindəki təzyiqi onun sahəsinə vursaq dibə düşən təzyiq qüvvəsini taparıq

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



Şəkil

Bu qabların hər üçünün oturacağına düşən təzyiq qüvvəsi eyni olacaq.



Şəkil

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

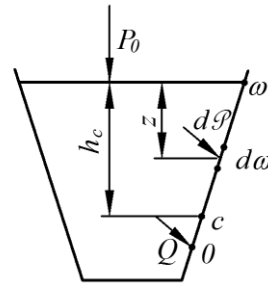
2) Müstəvi divara düşən təzyiq qüvvəsi.

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

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

Bu tənliyi ρ -yıb bütün divara düşən təzyiq qüvvəsini tapaq

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



Şəkil

$\int_{\omega} z d\omega = h_c \omega$ - 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

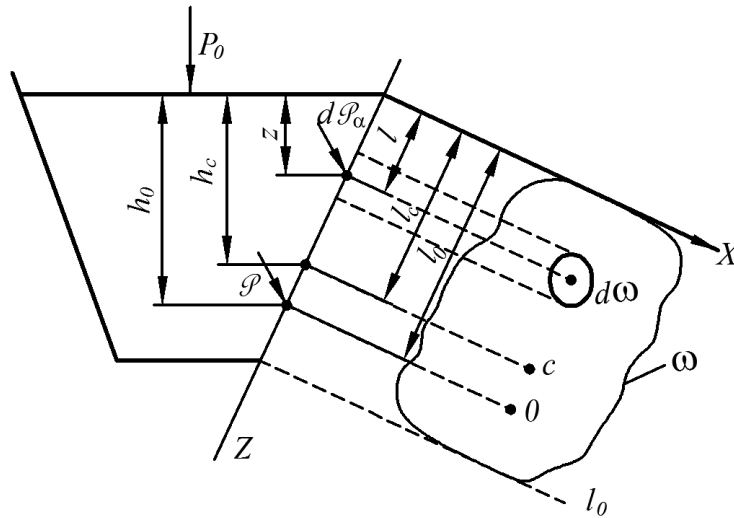
Təzyiq qüvvəsinin tətbiq nöqtəsinə **təzyiq mərkəsi** deyilir. Təzyiq mərkəzi iki üsul ilə tapılır. Qrafiki və analitik. Təzyiq mərkəzinin qrafiki tapmaq üçün təzyiq epyurasını qurmaq lazımdır. Təzyiq epyurasının mərkəzi təzyiq mərkəzi olacaqdır.

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 mərkəni 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

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

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

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

Elementar momentlərin cəmi

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

$\int_{\omega} \ell^2 d\omega = J_x$ sahənin xoxuna 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. Üfqə 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.

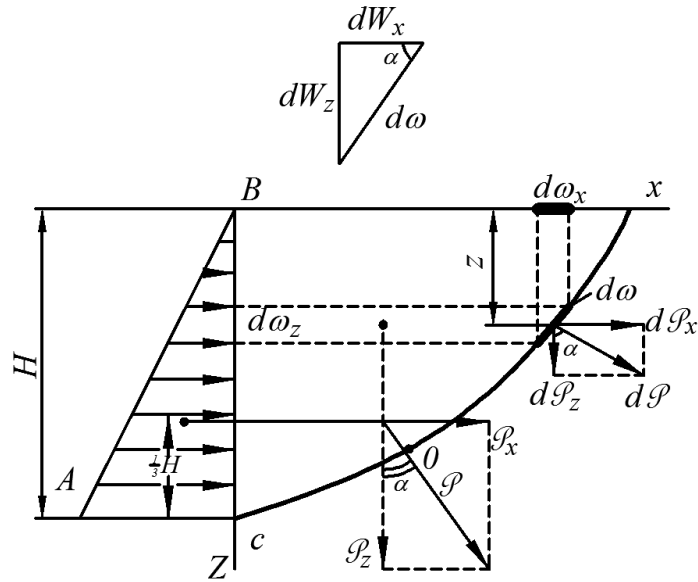
Əyri xətti səthlərə düşən təzyiq qüvvəsi

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. Üfqə

$d\mathcal{P}_x$ şaquli $d\mathcal{P}_z$. Şəkində $d\omega_x$ və $d\omega_z$ sahəsinin üfqi və şaquli proyeksiyalarıdır. $d\mathcal{P}_x$ və $d\mathcal{P}_z$ - qüvvələrini tapaq.

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

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



Şəkil

Bu tənlikləri ρ -yıb ayrışətli səthə düşən təzyiq qüvvəsinin üfqi və şaquli toplananlarını tapaq

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

$$\mathcal{P}_z = \gamma \int \omega_x d\omega.$$

$$\int_{\omega_z} z d\omega_z = h_c \cdot \omega_z - \text{əyrixətli səthin şaquli proyeksiyasının } x$$

oxuna nəzərən statik momentidir

$$\mathcal{P}_x = \gamma h_c \omega_z.$$

$\mathcal{P}_x$ - qüvvəsinin tətbiq nöqtəsi ABC təzyiq epyurasının ağırlıq mərkəzi olacaqdır

$$P_z = \gamma W.$$

$$W = \int_{\omega_x} z d\omega_x - \text{əyrixətli səthlə əhatə olunmuş mayenin}$$

həcmidir. Buna **təzyiqin cismi** deyilir. γW - əyrixətli səth ilə əhatə olunmuş mayenin çəkisidir. Deməli, əyrixətli səthə təsir edən təzyiq qüvvəsinin şaquli toplananı həmin səth ilə əhatə olunmuş mayenin çəkisinə bərabərdir. Odur ki, $\mathcal{P}_z$ tətbiq nöqtəsi ağırlıq mərkəzi olacaqdır. Əyrixətli səthə təsir edən təzyiq qüvvəsinin əvəzləyicisinin qiyməti

$$\mathcal{P} = \sqrt{\mathcal{P}_x^2 + \mathcal{P}_z^2}.$$

İstiqaməti

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\mathcal{P}_x}{\mathcal{P}_z}$$

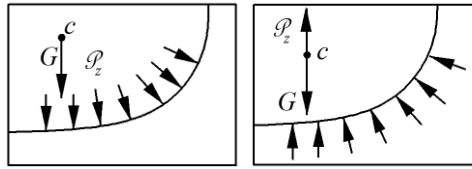
tətbiq nöqtəsi isə qəni təzyiq mərkəzi $\mathcal{P}$ qüvvəsinin əyrixətlə kəsişdiyi O nöqtəsi olacaqdır.

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 qiy-mətcə bərabər istiqamətcə eyni olur.

2) *Maye əyrixətli səthin xaricindədir.* $G = -\mathcal{P}_z$. Bu hala **fiktiv hal** deyilir.



Şəkil

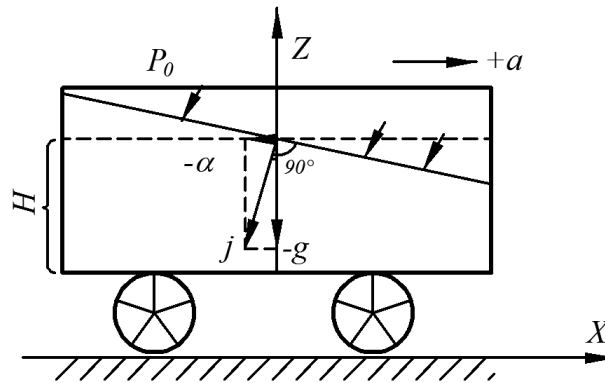
Mayelərin nisbi müvazinəti

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 sisternasında 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 hərəkəti yaranan ətalət qüvvəsi təsir edəcəkdir. Nisbi müvazinətin iki halına baxaq.

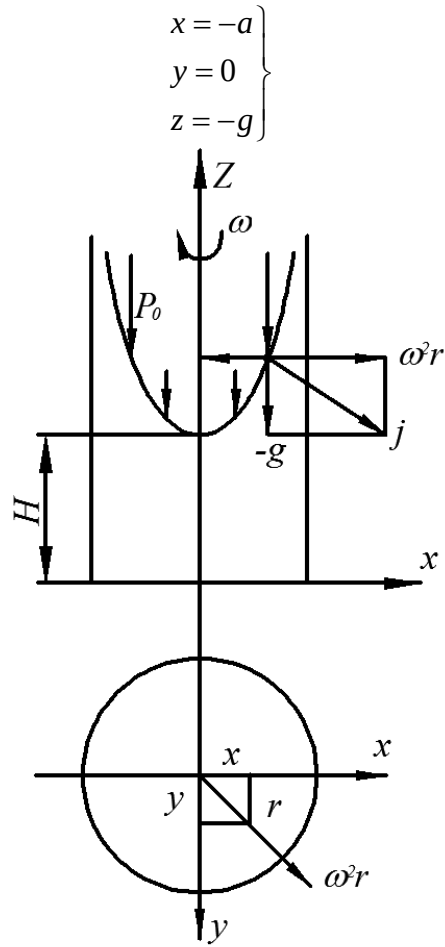
1) *Maye + a təcili ilə hərəkət edən dəmiryol sisternasında nisbi müvazinətdədir.*

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



Şəkil

Həcmi qüvvənin təcilinin oxlar üzərindəki proyeksiyaları



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 sistemdə mayenin sərbəst səthi mayeli müstəvi şəklində olacaqdır

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

Sistem hərəkət etdikdə maye arxa tərəfə yığılır. Qəflətən dayandıqda qabaq tərəfə yığılır. Odur ki, sistemləri 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 təcilinin oxlar üzərindəki proyeksiyaları

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

Bu qüymətləri hidrostatikanın differensial tənliyində yerinə yazaq

$$dP = \rho(\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz)$$

$$P = \rho \left(\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - gz \right) + C.$$

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.

$$gH - gz + \frac{\omega^2 r^2}{2} = 0;$$

$$z = H + \frac{\omega^2 r^2}{2g}.$$

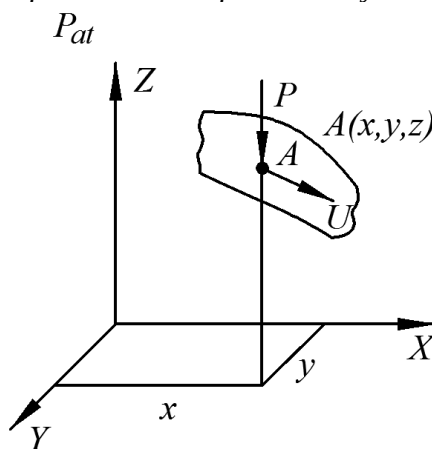
Bu parabolanın fırlanmasından alınan səthin yəni paraboloidin təliyi­dir. Deməli, silindrdə mayenin sərbəst səthi paraboloid şəklində olacaqdır.

HIDRODINAMIKA

Maye hərəkətinin növləri

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

Hidrodinamika bəhsində ideal maye anlayışından geniş istifadə olunur. Lakin ideal mayelər üçün çıxarılan qanunlar, tənliklər, düsturlar. Həqiqi mayelərə tətbiq olunduqda onlara müəyyən düzəlişlər olunur. Bu düzəlişlər, əsasən ideal maye ilə həqiqi mayenin fərqi olan özlülük nəticəsində yaranan sürtünmə 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 zaman-dan 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 ən kəsik üzrə sürət dəyişərsə belə hərəkətə **qeyri müntəzəm hərəkəti** deyilir. Müxtəlif diametrli borularda maye artmırsa, 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, şəlalərdə suyun axması və s.

Maye axınının hidravlik elementləri

1) Cərəyan xətti.

Bu elə bir xətdir ki, maye axını içərisində bir çox nöqtələrdən keçir və həmin nöqtələrdəki sürət vektorları ona toxunan olur.

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

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

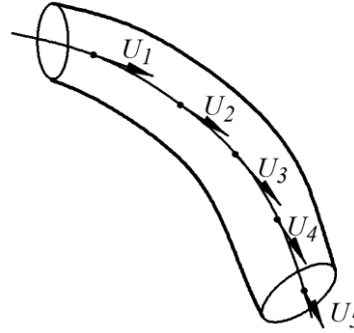
Onda borudakı mayenin hərəkəti qərarlanan olacaqdır. Əgər

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

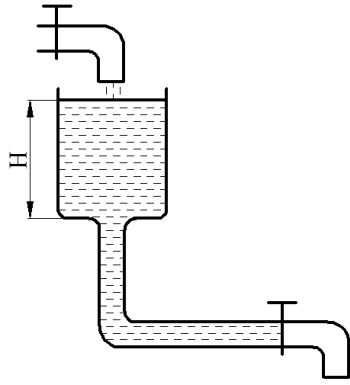
olarsa onda borudakı mayenin hərəkəti qərarlanmayan olacaqdır.

2) Şırnaq – elementar maye lüləsi.

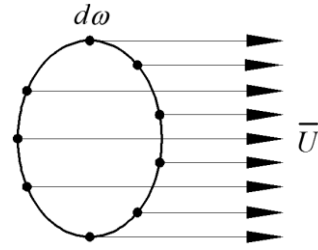
Qapalı bir kontur olduğunu fərz edək. Bu konturun hər bir nöqtəsi bir cərəyan xəttinə uyğun olsun. Nəticədə **Şəkildəki** kimi silindrik bir səth alınacaq. Buna **cərəyan borusu** deyilir.



Şəkil



Şəkil



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 birbirinə 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

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

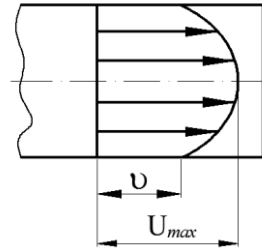
Şırnağın sərfini sürətə görə də tapmaq olar.

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

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.

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

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

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

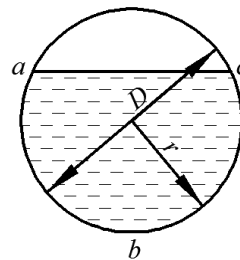
$$G = \gamma \cdot Q \quad \frac{kq}{san}, \quad \frac{u}{san}, \quad \frac{\tau}{sutka}.$$

G – çəki səfidir.

1) Hidravlik radius

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

Canlı kəsiyin islanmış perimetərə olan nisbətində hidravlik radius deyilir



Şəkil

$$R = \frac{\omega}{æ}.$$

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.

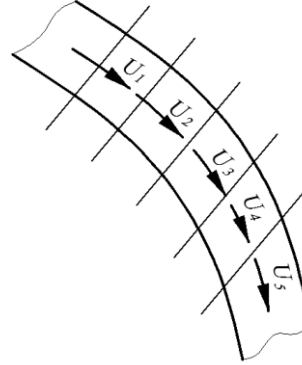
- 1) Mayenin hərəkəti qərarlanandır;
- 2) Maye sıxılmayıdır
($\rho = \text{const}$);
- 3) Şırnağın yan səthi maye keçirməyəndir

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

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

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

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



Şəkil

Axın üçün sərfin sabitlik

tənliyini yazmaqdan ötrü yuxarıdakı tənlikləri differensiallamaq 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

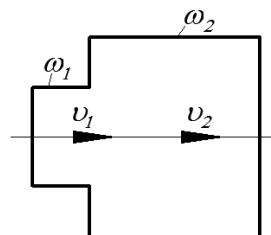
$$Q = v \cdot \omega = \text{const} \text{ və ya}$$

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

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

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

Sürətlərin nisbəti sahələrin nisbəti ilə tərs mütənasibdir.



Şəkil

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 hidrostatiikanın 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 hidrodinami-kanın 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 yazaq

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

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

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

(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

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

və həndəsi (qrafiki) mənalara aydınlaşdırılması deməkdir.

Bu üç kəmiyyətin üçünündə ölçü vahidi uzunluq ölçüsüdür.

1) z – kəmiyyəti. Hər hansı bir üfqi 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.

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

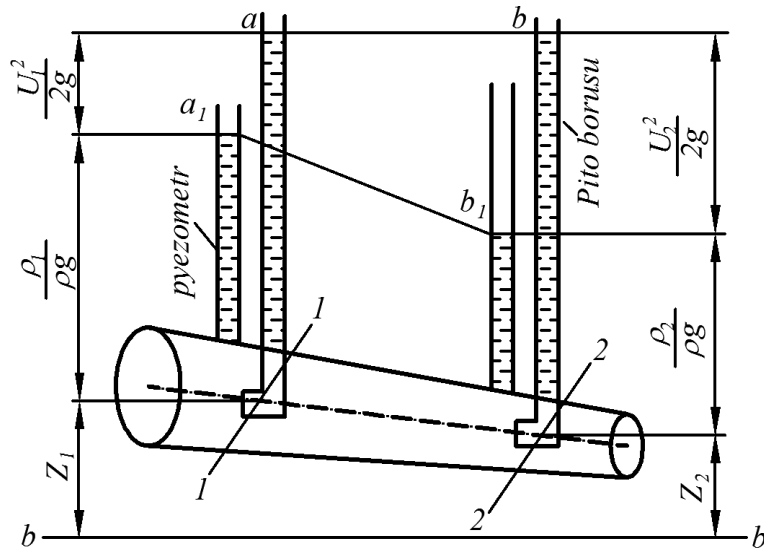
Fiziki mənada xüsusi təzyiq enerjisidir.

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

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

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

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



Şəkil

Pito borusunda mayenin qalxma hündürlüyü xüsusi kinetik enerjidir.

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

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

kəsiyin tam hidrodinamik basqısıdır.

a_1b_1 xətti pyezometrik xətdir. $x-x$ müqayisə müctəvisidir. İdeal 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 tənliyini 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 məxrəcini $\frac{\rho}{2}$ -yə vuraq

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

$$E_k = \alpha \cdot E_k'$$

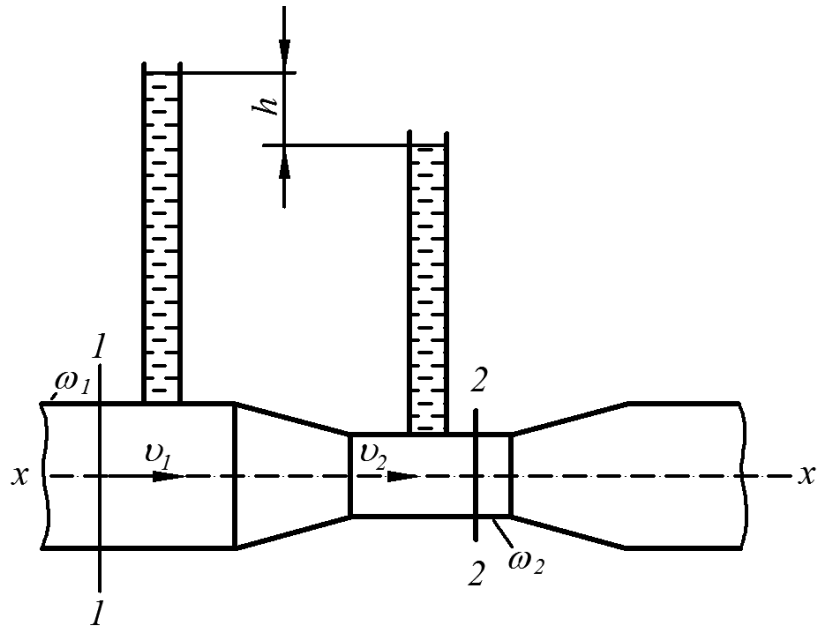
E_k - həqiqi sürətə görə kinetik enerjidir; E_k' - orta sürətə görə kinetik enerjidir; α - orta sürətə görə hesablanmış enerjiyə düzəliş əmsəlidir. Bunu ilk dəfə Kariolis tapdığı üçün α -ya **Kariolis əmsalı** da deyilir. α -nın qiyməti eH-kəsik üzrə sürətin qeyri-bərabər paylanmasıdan asılıdır. Deməli, 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

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

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

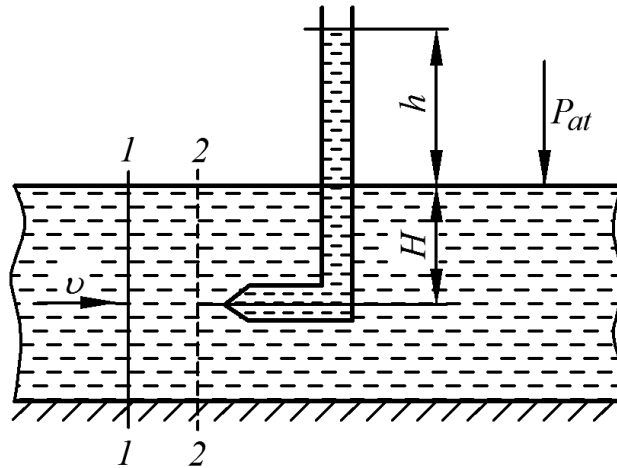
$$Q_n = A\sqrt{h}.$$

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

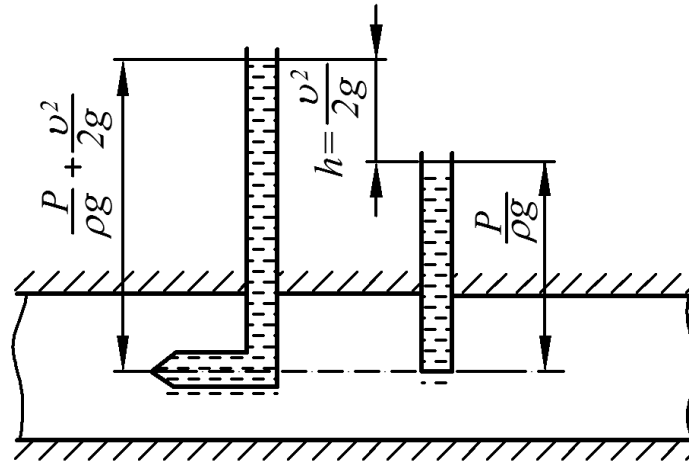
$$v_{hər} = \varphi \sqrt{2gh}.$$

φ - sürət əmsalındır 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 fərqidir.



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 üfqı boruda qərarlanan müntəzəm hərəkət edərsə, yəni

$$z_1 = z_2, v_1 = v_2$$

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

$$\frac{v_n}{v_m} = \frac{l_n}{t_n} : \frac{l_m}{t_m} = \frac{\lambda_l}{\lambda_t^2}.$$

Təcillərin nisbəti

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

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) Ağırlıq 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

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

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

Re - ölçüsüz peynolds parametridir. Borularda özlülü maye hərəkət etdikdə bu parametrdən istifadə olunur. Deməli boruda 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

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

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

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

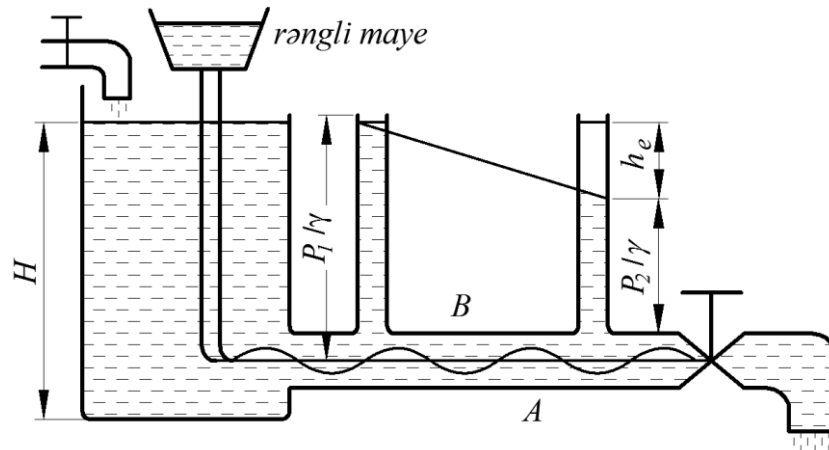
$$F_r = \frac{v^2}{l G} = idem .$$

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.



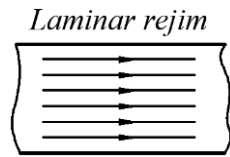
Şəkil

$H = \text{const}$ - 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.

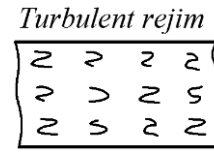
Əgər rəngli maye borudakı suya qarışaraq axarsa (B), borudakı mayenin hərəkət rejimi qarmaqarışıq, yəni turbuləndir.

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



Şəkil



Şəkil

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

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

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 yazıla bilər

$$h_e = f(v).$$

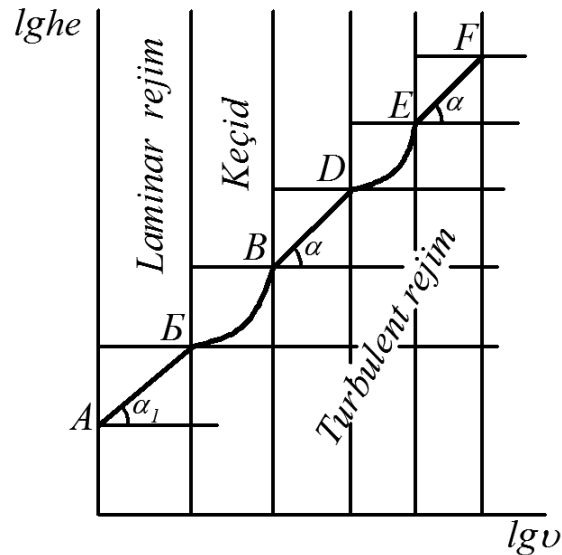
h_e - i pyezometrlərin fərqi kimi tapmaq olar

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

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 dərəcəsiindən 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

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

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 (he) sürətin kvadratından asılı olduğu üçün buna kvadratik zona deyilir.

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

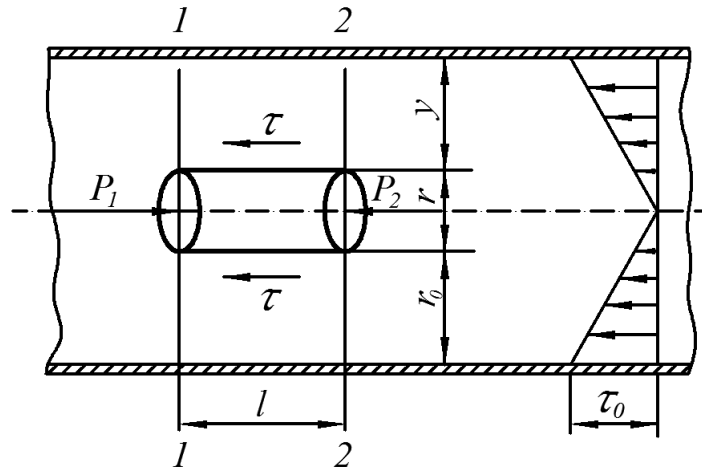
Laminar hərəkət rejimi

Laminar hərəkət rejimində maye hissəcikləri bir-birinə parallel 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 üfqi boruda mayenin qərarlanan müntəzəm hərəkətinə baxırıq. Bu halda mayeyə təsir edən təzyiq qüvvələri müqavimət qüvvəsinə bərabər olur.



Şəkil

Qüvvələrin qiymətlərini yerinə yazaq

$$P_1 - P_2 = T, \quad (1)$$

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

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 üfqi olduğu üçün

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

Bu tənliyin 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

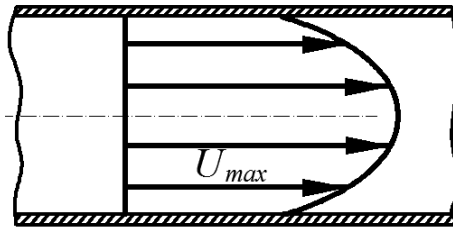
$U = \max$ olar.

Deməli, borunun oxunda sürət maksimal qiymət alacaq.

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

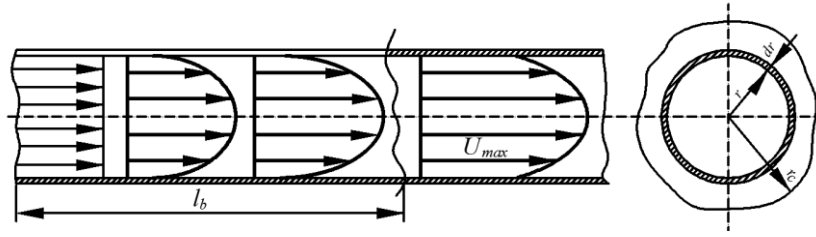
Maye boruya daxil olduqda bütün kəsiklərdə sürət eyni olur. Sonra sürtünmə qüvvələrinin nəticəsində his-in sürəti müxtəlif alınır.

Ket-gedə sürətlər epyurası parabola şəklini alır.



*laminar rejimdə sürətin
kəsik üzrə paylanması*

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

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

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

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

$$\nu = 0,5U_{max}.$$

Deməli, laminar rejimdə orta sürət maksimum sürətin yarısına bərabərdir.

4) Laminar rejimdə basqı itkisi.

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

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

Digər tərəfdən hidravlik mailliyi aşağıdakı kimi tapa bilərik

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

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

Bu düstur **Buazele düsturu** adlanır.

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

$$he = \frac{32\nu l \nu}{g d^2}.$$

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

Digər tərəfdən laminar rejimdə

$$he = A\nu$$

Onda

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

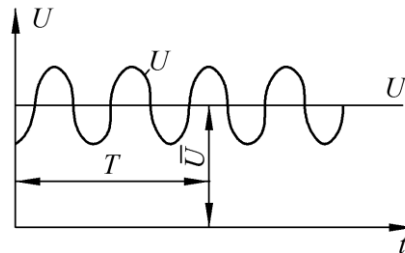
Deməli A əmsalı laminar rejimdə mayenin fiziki xassəsindən və borunun ölçülərindən asılıdır. Maye laminar rejimlə hərəkət etdikdə borunun divarında sürət sıfır olduğu üçün borunun divarında olan kələ-kötürlüklər maye təbəqəsi ilə örtülür. Odur ki, laminar hərəkət rejimində maye təbəqəsi ilə divar arasında 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 toplananı 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 qasırğalar yaradır. Yəni turbulent hərəkət rejimi əmələ gəlir. Turbulent rejimdə hissəciklərin sürət və təzyiqi döyüntülü olur. Yəni turbulent hərəkət rejimi qərarlanmayan hərəkət olur. **Şəkil**də turbulent hərəkət rejiminin də hissəciyin sürətinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi göstərilmişdir.



Qrafikadan görünür ki,

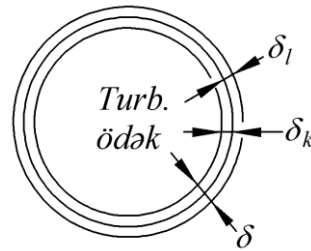
Şəkil

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

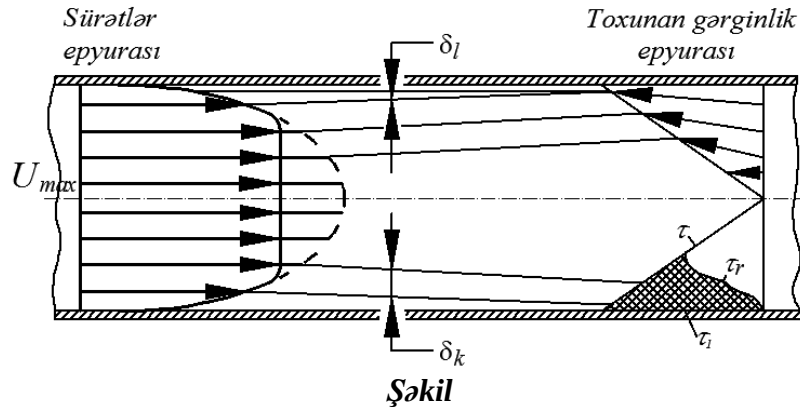
$$\delta_l = \frac{30d}{Re \sqrt{d}}$$

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.



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

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

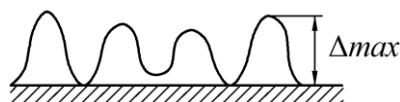
l - maye hissəciklərinin yerdəyişmə yolunun uzunluğudur. Qrafikadan görünür ki, turbulent özəkdə $\tau_1 \approx 0$.

$$\tau = \tau_2.$$

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 sıthi girintili – çıxıntılı olur. Yəni müxtəlif kələ - kötürdə olurlar. $\Delta_{\max}$ - kələkötürlüqün 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

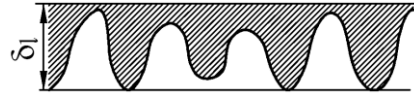
$$\Delta_{\max} = 0,2 \div 1,2 \text{ mm}.$$

$\Delta_{\max}$ -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 kələkötürlüyü 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 təpmaq 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

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

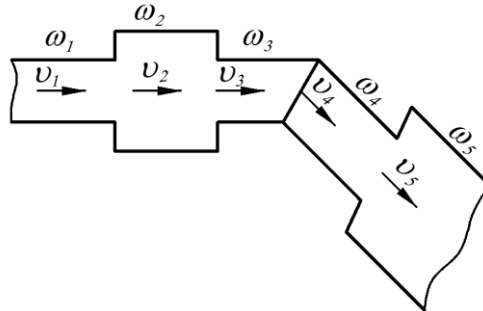
$\frac{d}{\Delta}$ - nisbi hamarlıq deyilir.

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 etdikdə yerli müqavimət yaranır. Borunun en kəsiyi qəflətən genişlənməsi hadisəsinə baxaq

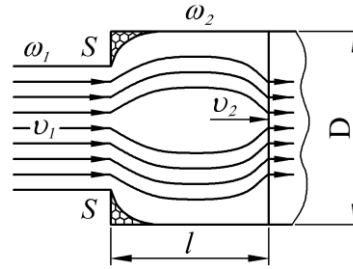
$$\omega_1 < \omega_2 \text{ olduğu üçün } v_1 = v_2 \text{ olacaq.}$$

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

$$h_j = \frac{(\nu_1 - \nu_2)^2}{2g}.$$



Şəkil

Sərfin sabitlik tənliyinə görə

$$\omega_1 \nu_1 = \omega_2 \nu_2, \quad \nu_1 = \frac{\omega_2}{\omega_1} \nu_2$$

ν_1 - ni qiymətini yerinə yazaq

$$h_j = \frac{\left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \nu_2 - \nu_2 \right)^2}{2g} = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2 \frac{\nu_2^2}{2g}.$$

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

$$h_j = \xi \frac{\nu_2^2}{2g}.$$

Yerli müqavimət əmsalı praktikadan tapılır. Qəflətən genişlənmə

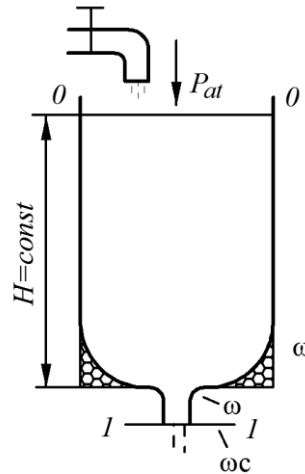
$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = 1 \div 10; \quad \xi = 0 \div 81.$$

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

Sabit basqıda mayenindeşik və lülələklərdən axması

Basqı sabit olduğu üçün mayenin hərəkəti qərarlanan ola-
caq. Rezervuarlardan, çənlərdən
mayeni boşaltmaq üçün onların
oturacaqlarında və ya yan divarla-
rındadeşiklər açılır. Onların for-
ması dairə, üçbucaq, kvadrat ola
bilir.

Maye onlardan xaric olduqda
səthi gərilmə qüvvəsinin təsirindən
maye lüləsinin en kəsiyi sıxılır.
Hətta maye lüləsinin en kəsiyinin
formasıdaəyişilir. Buna **lülənin in-
versiyası** deyilir. Məsənin, deşiyin
en kəsiyinin forması dairə olarsa,
maye kəsiyi en kəsiyinin forması
ellipsə oxşayır.



Şəkil

ω - deşiyin; 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.

$$H_w = he + hj = \xi \frac{v_1^2}{2g}$$

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 yanğınsönürəklərdə, süni yağış yağdırarlarda, 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.

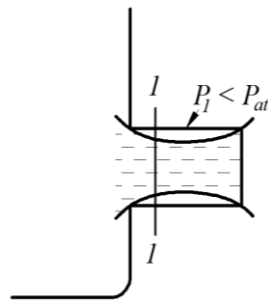
$$0,82 / 0,62 \approx 1,3.$$

Bu da 1-1 sıxılan kəsikdə vakuumun olmasına görədir.

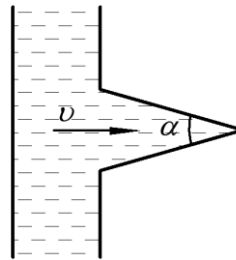
2. *Konusvari lülələr səpəlayici və ???layəcə olur. θ - konusluq bucağıdır*

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

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



Şəkil

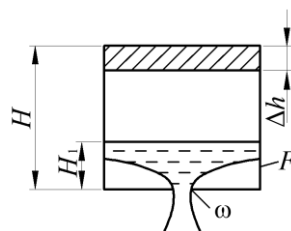


Şəkil

3. *Konoidal lüləklər.* Bunlar yarımyəhər 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 çəndə



Şəkil

enək mayenin həcmi Fdh -dir. F – cənin en kəsik sahəsidir; dh - elementar dt zamanda enən səviyyənin hündürlüyüdür.

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

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

$$-FdH = \mu\omega\sqrt{2gu}dt,$$

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

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

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

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

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 tıyin edək

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

T_1 - qərarlanan hərəkətdə FH həcmnin axma vaxtədər. Onda

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

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

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

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

Qərarlanan hərəkət ilə qərarlanmayan hərəkəti müqayisə etsək

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

Deməli, qərarlanmayan hərəkətdə vaxt iki dəfə böyük olur.

Səviyyə altında mayenin deşikdən axması

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

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

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

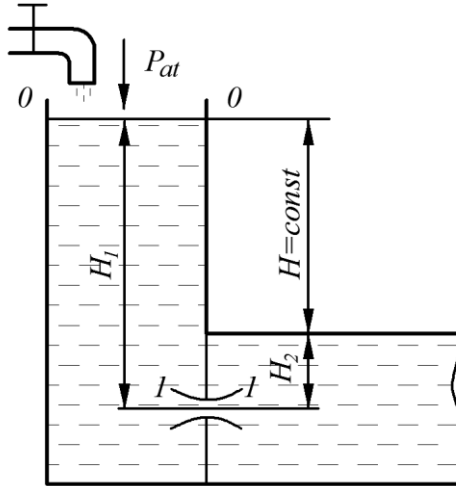
$$H_1 + \frac{P_{at}}{\gamma} = \frac{P_{at}}{\gamma} + H_2 + (\alpha_1 + \xi) \frac{v_1^2}{2g};$$

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

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

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

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



Şəkil

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

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.

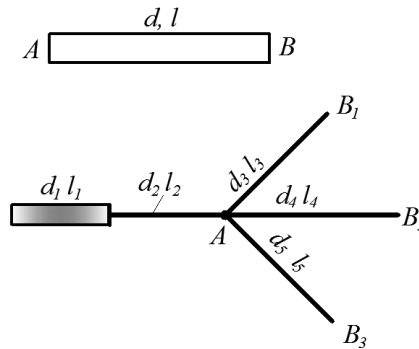
Boru kəmərləri qısa və uzun olurlar. Əgər

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

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-Nasosun su kəməri sadə boru kəməridir.

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

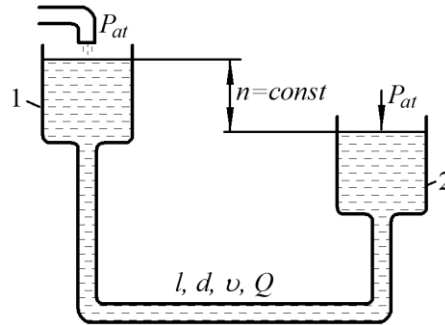
Sadə boru və mürəkkəb boru kəmərləri uzun boru kəmərlərinə aiddir. Uzun boru kəmərlərində əsasən sürtünmə müqaviməti olur. Qısa boru kəmərlərində isə yerli müqavimətlər olur. Ona görə də uzun boru kəmərləri sürtünmə müqavimətinə görə hesablanırlar. Yerli müqavimətlər isə sürtünmə müqavimətinin 5 – 10%-i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

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

$\frac{he}{l} = J$ - 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 $R < 1$ m olsa $y = 1,5\sqrt{n}$.

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

Verilmiş l uzunluğunda və n kələ-kötürlülüynündə 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

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

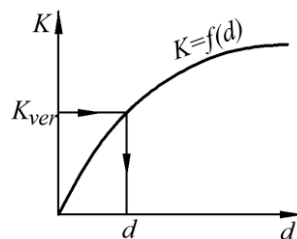
Sonra qrafik qurulur. **Şəkil**dəki kimi.

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.

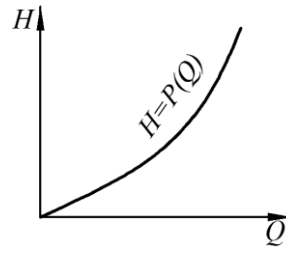


Şəkil

Mürəkkəb boru kəmərlərinin hidravlik hesabı

Mayeni bir məntəqədən bir neçə məntəqəyə nəql edən boru kəmərlərinə **mürəkkəb boru kəmərləri** deyilir. Mürəkkəb boru kəmərləri ardıcıl, paralel və yaxud həm ardıcıl və həm də paralel birləşə bilirlər. Boru kəmərlərini qrafiki də hesablayır-

lar. 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 **Şəkildə**ki kimi olacaqdır. **Şəkildən** 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

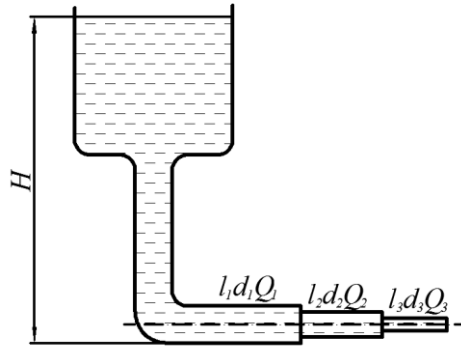
$$Q = \text{const.}$$

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

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

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

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



Şəkil

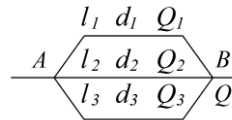
H - ümumi basqıdır və ya ona tələb olunan basqı deyilir.

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

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

$$H = he_1 = he_2 = he_3 \text{ olur.}$$

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 sərtlərin 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).

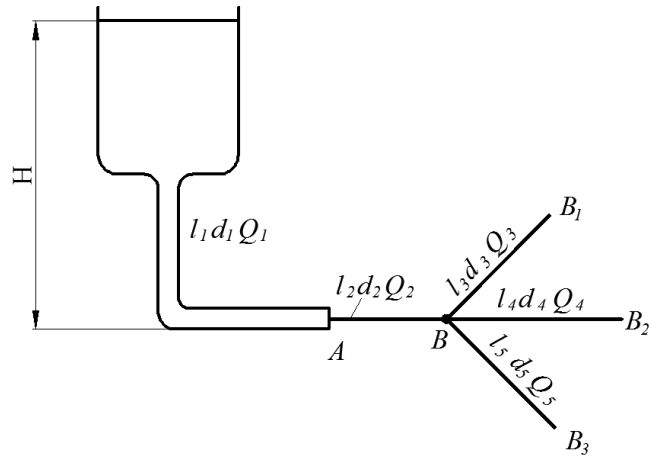
B_1, B_2, B_3 məntəqələrində təzyiq eynidir və atmosfer təzyiqinə bərabərdir. A, B_1, B_2, B_3 məntəqələrinin həndəsi hündürlükləri eynidir. A və B məntəqələrindən keçən mayenin miqdarı eynidir.

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

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

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

Şaxəli 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 yazaraq

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

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.

Onda A nöqtəsindən keçən mayenin miqdarı $Q_T + Q_j$ 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.

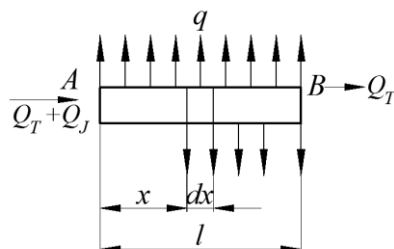
$$dhe = \frac{1}{K^2} [Q_T + (l - x)q]^2 dx.$$

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 diferensialayaq

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



Şəkil

İntegralin 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 paylanmasıda hidravlik müqavimət üç dəfə az olur

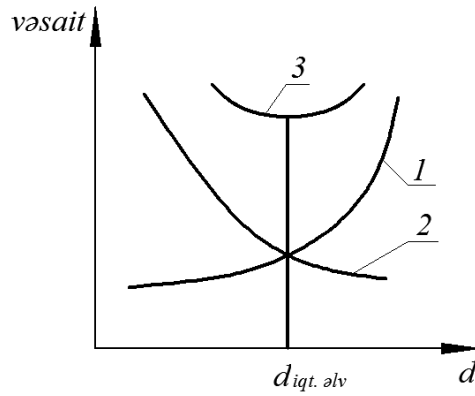
$$Q_T^2 + Q_T \cdot Q_J + \frac{1}{3} Q_J^2 = (Q_T + 0,55 Q_J)^2.$$

$(Q_T + 0,55 Q_J)^2 = Q_h^2$ - **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 seçilsə, metal çox olar, deməli çəkmə xərcləri çox azdır. Əgər boru kəmərinin diametri kiçik seçilsə metal az sərf olunar, 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 çəkmə 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

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

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

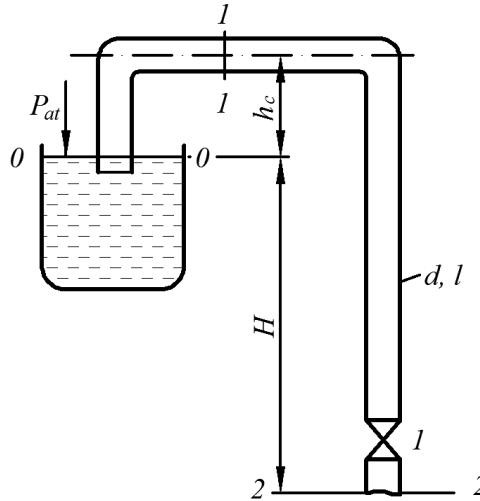
Sifon boru kəməri

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) çəndəki 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

$$h_c = \frac{P_{at} - P_1}{\gamma} - \frac{v^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{l_1}{d} + \sum \zeta_1 \right).$$

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

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

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

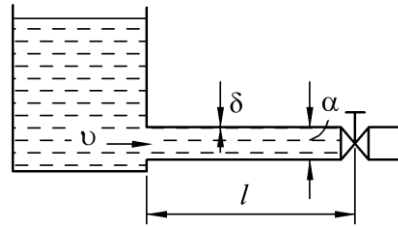
$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}.$$

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 partla-

ya 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 tərəf 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

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

$$a = 1430 \text{ m/san} .$$

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

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

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

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

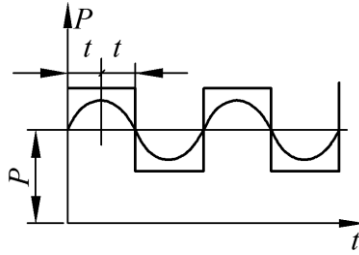
$$\Delta P = 10 \text{ atm} = 1 \text{ MPa} .$$

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

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

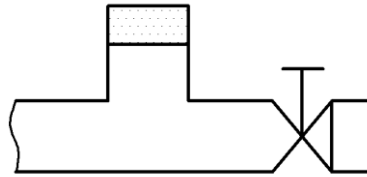
Sonralar aparılan tədqiqatlar Jukovskinin nəzəriyyəsinin doğru olduğunu göstərilmişdir.



Şəkil

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

II üsul bağlayıcılardan qabaq hava qübbəsi qoyulur.

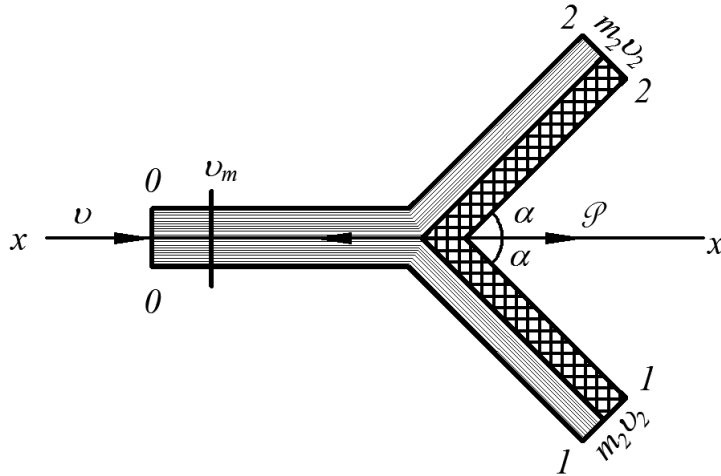


Şəkil

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

$$Q = \omega v,$$

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

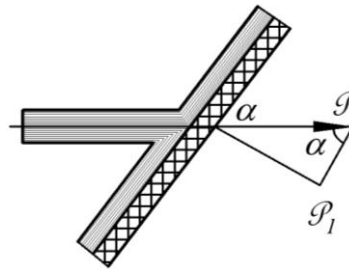
Əgər səth u sürətilə şırnaq istiqamətində hərəkət edərsə, onda nisbi sürət götürmək lazımdır

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

Əgər səth şırnağın əksinə hərəkət edərsə, onda

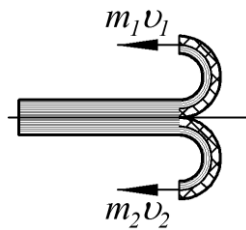
$$\mathcal{P} = \rho \omega (v + u)^2.$$

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.

Hidravlik maşınlar və onların texnikada rolu

Hidravlika qanunları işləyən maşınlara *hidravlik maşınlar* deyilir. Hidravlik maşınlar iki yerə bölünürlər:

I. *Turbinlər* – mayenin enerjisini mexaniki enerjiyə çevirirlər;

II. *Nasoslar* – mexaniki enerjini yeri dəyişən mayenin enerjisinə çevirirlər. İş prinsiplərinə görə nasoslar iki yerə bölünürlər:

1) Dinamik nasoslar;

2) Həcmi nasoslar.

Dinamik nasoslar işçi orqanın mayeyə etdiyi təsirlərinə görə iki yerə bölünürlər: kürəkli nasoslar və sürtünmə nasosları.

Bu nasoslarda işçi orqanın formalarına görə bölünürlər:

- I. Kürəkli nasoslar:
1. Mərkəzdən qaçan nasoslar;
 2. Diaqonal nasoslar;
 3. Oxlu nasoslar.

III. *Sürtünmə nasoslar*: 1. Qasırga nasosları;

2. Lüləli nasoslar;

3. Hava qaldırıcıları.

Həcmi nasoslar işçi orqanın hərəkətinə görə bölünürlər:

1. İşçi orqanı irəli-geri hərəkət edən nasoslar;

2. İşçi orqanı fırlanan nasoslar (rotorlu).

Bu iki qrup nasosda öz növbəsində işçi orqanın formasına görə bölünürlər:

I. *İşçi orqanı irəli-geri hərəkət edən nasoslar*:

1. Porşenli nasoslar;
2. Plunjerli nasoslar;
3. Diafraqmalı nasoslar;

4. Pnevmatik nasoslar.

II. *İşçi orqanın formasına görə rotorlu nasoslar bölünürlər:*

1. Dişli çarxlı nasoslar;

2. Vintli nasoslar;

3. Lövhləli nasoslar.

Bunlardan başqa hidravlik taran vakuum nasos, həcmi hidravlik ötürmə, hidrodinamik ötürmə (hidromufta və hidrotransformator) və bəzi xüsusi mayeləri vurmaq üçün olan nasoslar da hidravlik maşınlara aiddir.

Texnikanın elə bir sahəsi yoxdur ki, orada hidravlik maşınlardan istifadə olunmasın. Maşınqayırma sənayesində metal-kəsən dəzgahların sistemləri hidravlik ötürmədən ibarətdir.

İlk nasos porşenli nasos olmuşdur. Porşenli nasosdan buxar maşını ixtira edildikdən sonra geniş istifadə olunmuşdur. Mərkəzdənqaçan nasosların nəzəriyyəsini Eyler onların ixtirasından 100 il əvvəl vermişdir. Mərkəzdənqaçan nasoslardan geniş istifadə elektrik mühərriki ixtira olunduqdan sonra olunmuşdur.

Nasosların əsas parametrləri

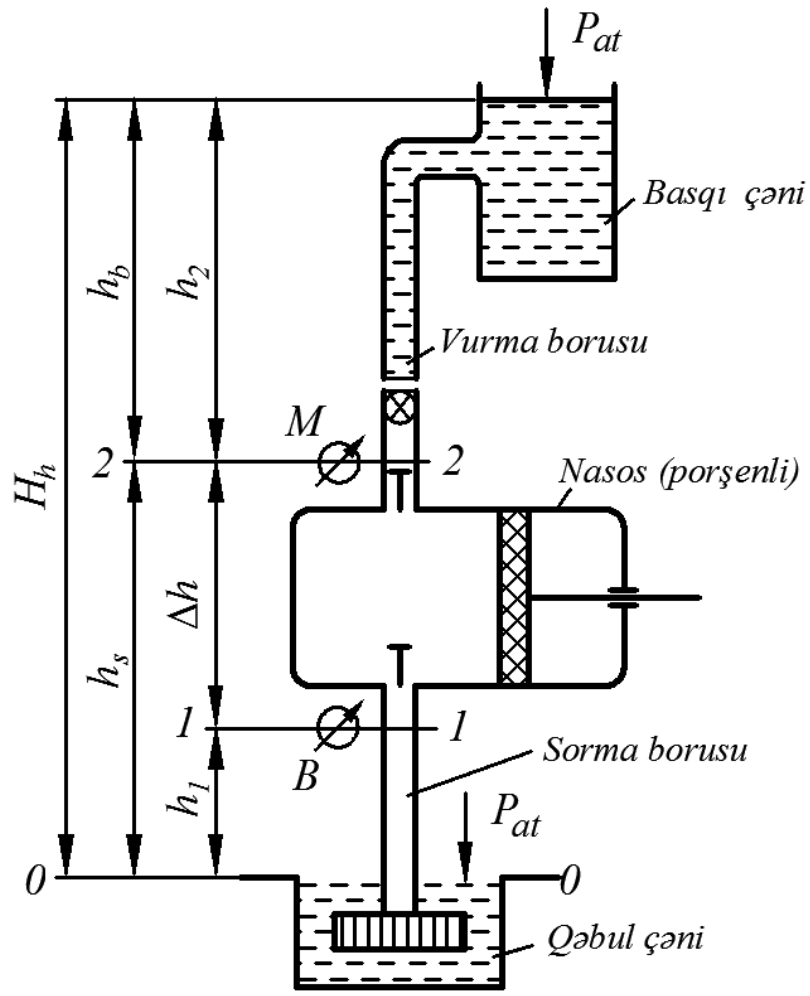
Şəkildə nasos qurğusunun sxemi göstərilmişdir:

h_c - sorma hündürlüyüdür; h_v - vurma hündürlüyüdür; $H_h = h_c + h_v$ - həndəsi hündürlük adlanır. Δh -monometrlərlə vakuummetrik oxları arasındakı məsafədir.

Nasos mayeyə enerji verdiyi üçün nasosun tam basqısı onun çıxışındakı və girişindəki xüsusi enerjilərinin fərqinə bərabərdir

$$H = H_2 - H_1.$$

H_2 - 2 - 2 kəsiyində monometr birləşən yerdə tam xüsusi enerji; H_1 - isə 1 - 1 - kəsiyində vakuumetr birləşən yerdə tam xüsusi enerjidir. Bunları Bernulli tənliyinə görə tapaq



Şəkil

$$H_2 = h_1 + \Delta h + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_v^2}{2g};$$

$$H_1 = h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_v^2}{2g};$$

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

P_2 - 2 - 2 kəsiyində tam təzyiqdir.

$$P_2 = P_{at} + P_m.$$

P_1 - 1 - 1 kəsiyindəki tam təzyiqdir

$$P_1 = P_{at} - P_v.$$

Qiymətləri yerinə yazsaq

$$H = \Delta h + \frac{P_m}{\rho g} + \frac{P_v}{\rho g} + \frac{v_v^2 - v_c^2}{2g}.$$

$$\frac{P_m}{\rho g} = h_m - \text{monometrik hündürlük};$$

$$\frac{P_v}{\rho g} = h_v - \text{vakuummetrik hündürlük}.$$

$$H = h_m + h_v \pm \Delta h + \frac{v_v^2 - v_c^2}{2g}.$$

Əgər monometr nasosun oxundan yuxarıda yerləşərsə Δh -ni işarəsi müsbət, aşağıda yerləşərsə - olacaqdır.

Əgər sorma borusu ilə vurma borusunun diametri eyni olarsa, yəni borusunun $v_b = v_c$ olsa onda

$$H = h_m + h_v \pm \Delta h.$$

Nasosun yaratdığı təzyiq

$$P = \rho g H = P_m + P_v \pm \rho g \Delta h + \rho \frac{v_b^2 - v_a^2}{2}.$$

Nasosun vahid zamanda vurduğu mayenin miqdarına onun **məhsuldarlığı** deyilir.

$$Q = \frac{W}{t} = \frac{sm^3}{san} = \frac{m^3}{saat}.$$

Çəki məhsuldarlığı isə

$$G = \rho g Q = \frac{kq}{san} = \frac{H}{san}.$$

Nasosun vahid zamanda gördüyü işə **faydalı güc** deyilir.

$$N_f = \rho g Q H \quad \text{kVt} \quad \frac{\text{kq} \cdot \text{m}}{\text{san}} .$$

$$N_f = \frac{\gamma Q H}{75} \quad \text{a.q.}$$

$$N_f = \frac{\gamma Q H}{102} \quad \text{kvt}$$

Nasosun faydalı gücünü təzyiqə görə aşağıdakı kimi tapa bilərik

$$N_f = P Q \quad \text{kvt}$$

Nasosun gücünü N ilə işarə edək. Buna tələb olunan və yaxud **valdakı güc** də deyilir. Nasosda itkilər olduğu üçün

$$N > N_f \quad \text{olur.}$$

$$\eta = \frac{N_f}{N} < 1 \quad \text{nasosun f.i.ə. adlanır.}$$

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_h \cdot \eta_m ,$$

η_0 - həcmi f.i.ə. itkiləri nəzərə alır;

η_h - hidravlik f.i.ə.;

η_m - mexaniki f.i.ə.

$$\eta = 0,6 \div 0,9 .$$

Nasosun ölçüləri artdıqca onun f.i.ə.-də böyük olur. Mayeni qabın çənindən basqı çəninə vurmaq üçün tələb olunan basqı

$$H_0 = h_c + h_v + h_{wc} + h_{wb} .$$

h_{wc} və h_{wb} - sorma və vurma borularındakı hidravlik itkilərdir

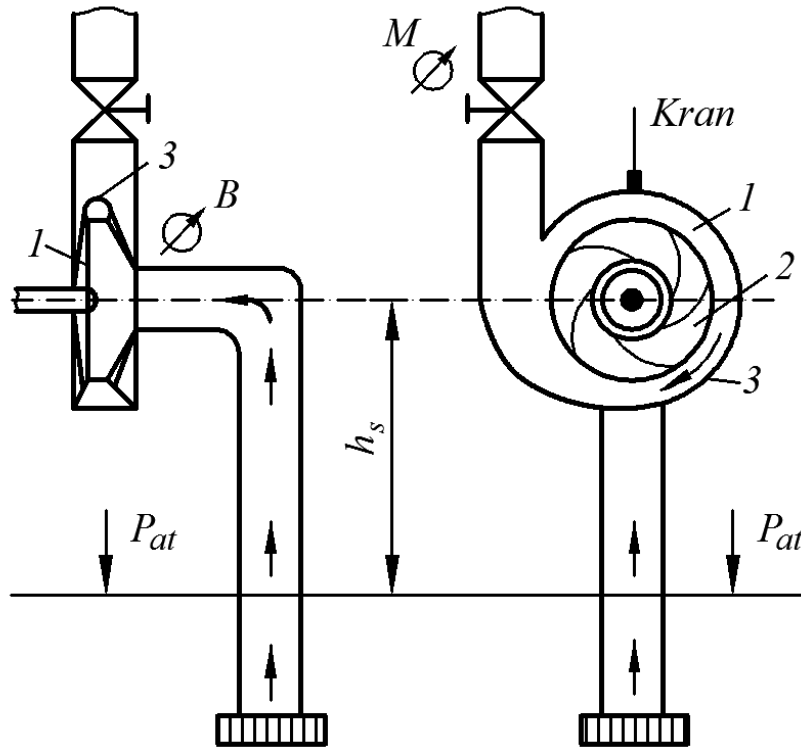
$$h_{wc} + h_{wb} = \sum H_w \text{ onda}$$

$$H_0 = H_h + \sum H_w .$$

H_0 - boru kəmərinin xarakteristikasıdır. Nasosun normal işləməsi üçün tələb olunan basqı ilə, nasosun yaratdığı basqı bərabər olmalıdır, yəni $H = H_0$.

Mərkəzdənqaçan nasoslar, sxemi və iş prinsipi

Mərkəzdənqaçan nasosların əsas hissəsi içmi çarxdır (1). İşçi çarx tərpənməz kürəklər sistemindən ibarətdir (2). İşçi çarx ilbizə oxşar kamera içərisində yerləşir (3).



Şəkil

Mərkəzdənqaçan nasosların cəhəti ondan ibarətdir ki, o ilk dəfə mayeni sora bilmir. Onun içərisini maye ilə doldurmaq lazımdır. Bunun üçün kiçik nasoslarda krandan istifadə olunur. Böyük nasoslarda isə vakuumnasosdan istifadə olunur. Nasosun içərisi maye ilə dolduqdan sonra elektrik mühərriki işə salınır. İşçi çarx fırlanmağa başlayır. Mərkəzdənqaçma qüvvəsi yaranır

$$F = ma = m\omega^2 R.$$

Bu qüvvənin təsirindən maye mərkəzdən kənara verilir. Kənara verilən mayenin yerini mayenin üzəlməməzliyinə görə yeni maye tutur. Beləliklə, maye sorulub vurulur. Odur ki, bəzən bu nasoslara **axar nasoslar** deyilir. Buna görə də nasoslarda klapanlara ehtiyac olmur.

Mərkəzdənqaçan nasosların növləri

I. 1 – 2 və çox çarxlı nasoslar.

Bir val üzərində yerləşən işçi çarxlara maye ardıcıl verilsə, nasosun məhsuldarlığı sabit qalar, təzyiqi isə işçi çarxların sayından asılı olaraq pillə-pillə artar. Belə nasoslara **pilləli nasoslar** deyilir. Əgər işçi çarxlara maye paralel verilsə, onda məhsuldarlıq artacaq, təzyiq sabit qalacaq. Belə nasoslara **çox axarlı nasoslar** deyilir.

II. Mayenin işçi çarxa daxil olmasına görə bir və iki tərəfli girişli nasoslar.

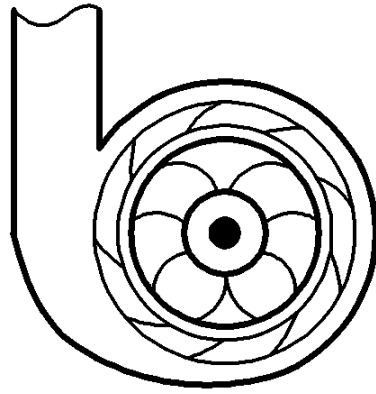
Əgər maye işçi çarxa bir tərəfdən daxil olarsa, ox istiqamətində qüvvə yaranır. Bu qüvvə də işçi çarxı sorma tərəfə itələyər. İşçi çarx ilbizə oxşar kameraya sürtünər və get-gedə sıradan çıxar. Odur ki, bu qüvvənin alınmaması üçün mayeni işçi çarxa iki tərəfdən verirlər.

III. Üfqə və şaquli vallı nasoslar.

IV. Alçaq təzyiqli (2 və 3 atm.), orta təzyiqli (3 və 6 atm.) və yüksək təzyiqli (6 atm-dən çox).

V. İstiqamətverici aparatlı və istiqamətverici aparatsız nasoslar.

Maye işçi çarxdan çox yüksək sürətlə xaric olunur. Deməli kinetik enerji də çox olur. Kinetik enerjini potensial enerjiyə çevirmək lazımdır. Yəni təzyiqi artırmaq lazımdır. Kiçik nasoslarda bu vəzi-fəsinə ilbizəox^oar kamera yeri-nə yetirə bilir. Böyük nasos-larda bunun üçün istiqamətve-rici aparatdan istifadə edirlər. Istiqamətverici aparat tər-pən-məz gü-rəklər sistemindən iba-rətdir.

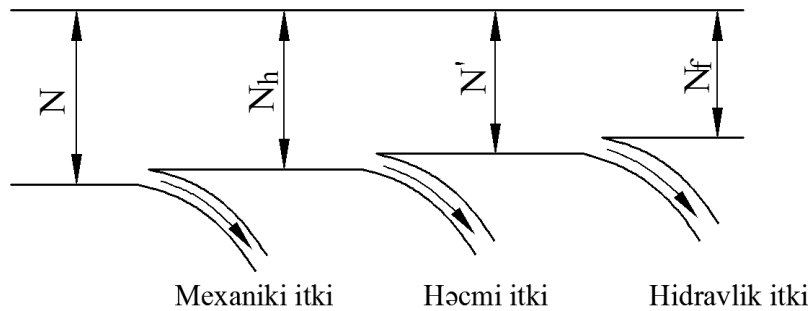


Şəkil

Istiqamətverici aparatın kürəklərinin forması işçi çarxın gü-rəklərinin əksinə olur, sayı isə ya bərabər ya da 1 – 2 dənə artıq olur.

Mərkəzdənqaçan nasoslarda enerji balansı

Nasoslarda əsasən üç cür enerji itkisi olur: mexaniki, həcmi də hidravliki.



Şəkil

Nasosda olan bütün itkiləri nasosun tam f.i.ə. nəzərə alır

$$\eta = \frac{N_f}{N},$$

$N_f = \rho g Q H$ - faydalı güc;

$N = \frac{\rho g Q H}{\eta}$ - nasosun gücü.

Nasosda olan mexaniki itkiləri mexaniki f.i.ə.-ı nəzərə alır.

$$\eta_m = \frac{N - N_m}{N}$$

N_m - mexaniki itkilərə sərf olan gücüdür.

$$N - N_m = N_m = \rho g Q_n H_n -$$

hidravlik güc adlanır. Q_n - nasosun nəzəri məhsuldarlığıdır; H_n - nasosun nəzəri basqısıdır.

$$\eta_m = \frac{\rho g Q_n H_n}{\rho g Q H} \eta,$$

$$\eta = \eta_m \frac{QH}{Q_n H_n}. \quad (1)$$

Nasosda olan həcmi itkiləri həcmi faydalı iş əmsalı nəzərə alır

$$\eta_0 = \frac{N_h - N_0}{N_h}.$$

$N_0 = \rho g H_n \Delta Q$ - həcmi itkilərə sərf olan gücdür.

ΔQ - həcmi itkilərdir.

$$\begin{aligned} N' = N_h - N_0 &= \rho g H_n Q_n - \rho g H_n \Delta Q = \\ &= \rho g H_n (Q_n - \Delta Q) \end{aligned}$$

$Q_n - \Delta Q = Q$ - nasosun həqiqi məhsuldarlığıdır

$$N' = \rho g H_n Q,$$

$$\eta_0 = \frac{\rho g H_n Q}{\rho g H_n Q_n} = \frac{Q}{Q_n}. \quad (2)$$

Nasosda olan hidravlik itkiləri hidravlik f.i.ə. nəzərə alır

$$\eta_h = \frac{N_f}{N'} = \frac{\rho g Q H}{\rho g H_n Q} = \frac{H}{H_n}. \quad (3)$$

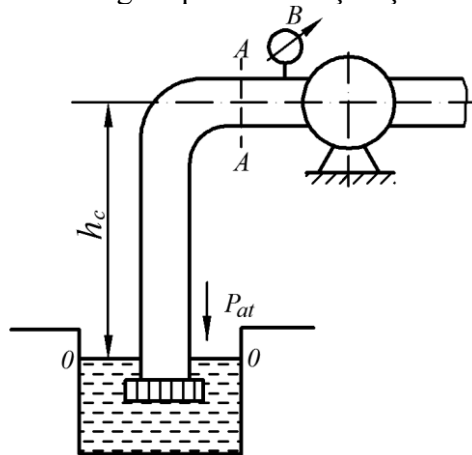
(2) və (3)-dən qiymətləri 1-də yerinə yazaq

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_0 \cdot \eta_h,$$

$$\eta_{üm} = (0,6 \div 0,92).$$

Mərkəzdənqaçan nasoslarda sorma prosesi

Sorma hündürlüyünün tapılması vacib məsələlərdən biridir. Bu nasosun düzgün qurulması üçün çox vacibdir.



Şəkil

h_c - sorma hündürlüyünü tapmaq üçün 0 – 0 və 1 – 1 kəsikləri üçün Bernulli tənliyini yazaq.

$$\frac{P_{at}}{\gamma} = h_c + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + h_{wc},$$

$$h_c = \frac{P_{at} - P_1}{\gamma} - \frac{v_c^2}{2g} - h_{wc}.$$

$$\frac{P_{at} - P_1}{\gamma} = \frac{P_v}{\gamma} = h_v - \text{vakuumetrik sorma hündürlüyü deyilir}$$

$$h_c = h_v - \frac{v_c^2}{2g} - h_{wc}.$$

h_{wc} - sorma borusundakı hidravlik itkilərdir.

$$P_{atm} = 1 \text{ atm.};$$

$$\frac{P_{atm}}{\gamma} = 10 \text{ m.}$$

$P_1 > 0$ - əks halda mayenin bütövlüyü pozula bilər

$$P_v < 1 \text{ atm} \text{ və ya } h_v < 10 \text{ m.}$$

Deməli $h_c < 10 \text{ m.}$

Praktikada sorma hündürlüyü 8 m-ə qədər ola bilər.

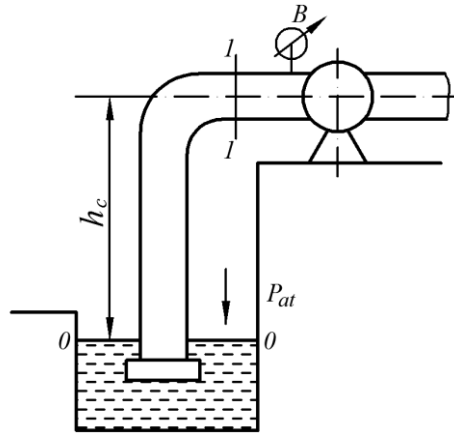
Mərkəzdənqaçan nasoslarda kavitasiya

Kavitasiya boşluq əmələ gətirmə deməkdir. Nasosun girişində 1 – 1 kəsiyindəki təzyiq (P_1) mayenin buxarlanma təzyiqindən (P_{iyx}) az olarsa maye qaynayar buxar əmələ gəlir. Buxar hissəcikləri axınla hərəkət edərək nasosun içərisində yüksək təzyiqli yerlərdə mayeləşirlər (kondensasiya olunurlar). Bu proses çox sürətlə gedir. Prosesin axırında hissəciklər qəflətən dayanırlar. Yerli hidravliki zərbə əmələ gəlir. Yəni ayrı-ayrı yerlərdə təzyiq qəflətən birdən birə çox artır. Bütün bunlara **kavitasiya hadisəsi** deyilir. Bu hadisə zamanı nasosda bərk səslər əmələ gəlir. Nasosun hissələri korroziyaya yararır. Nasosun məhsuldarlığı təzyiqi gücü, f.i.ə.-ı azalar.

Get-gedə nasos sıradan çıxır. Odur ki, hadisənin qarşısını almaq lazımdır. Bunun üçün P_1 təzyiqini düzgün tədqiq etmək lazımdır. Nasosun normal işləməsi üçün

$$P_{at} > P_1 > P_{bux}$$

olmalıdır.



Şəkil

Müəyyən edək ki, P_1 təzyiqi nədən asılıdır. Bunun üçün 0-0 və 1-1 kəsikləri üçün Bernulli tənliyini yazaq

$$\frac{P_{at}}{\gamma} = h_c + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + h_{wc},$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_{at}}{\gamma} - h_c - \frac{v_c^2}{2g} - h_{wc}.$$

Buradan görünür ki, P_1 , h_c -dən və h_{wc} -dən asılıdır. Odur ki, kavitasiyanın olmaması üçün sorma hündürlüyünü düzgün müəyyənləşdirmək lazımdır.

$$h_c = \frac{P_{at} - P_1}{\gamma} - \frac{v_c^2}{2g} - h_{wc},$$

$$\frac{P_{at} - P_1}{\gamma} = \frac{P_v}{\gamma} = h_v,$$

$$h_c = h_v - \frac{v_c^2}{2g} - h_{wc}.$$

Nasosun girişindəki mayenin tam xüsusi enerjisi $\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} \right)$ -dir.

Bu enerji kavitasiyanın alınmaması üçün buxarlanma təzyiqindən hər hansı bir Δh qədər çox olmalıdır.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} = \frac{P_{bux}}{\gamma} + \Delta h.$$

Δh - kavitasiya ehtiyatı adlanır; $\frac{P_1}{\gamma}$ -nin yerinə qiymətini yazaq.

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_{at}}{\gamma} - h_v,$$

$$\frac{P_{at}}{\gamma} - h_v + \frac{v_c^2}{2g} = \frac{P_{bux}}{\gamma} + \Delta h;$$

$$h_v = \frac{P_{at} - P_{bux}}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} - \Delta h;$$

$$h_c = \frac{P_{at} - P_{bux}}{\gamma} - h_{wc} - \Delta h.$$

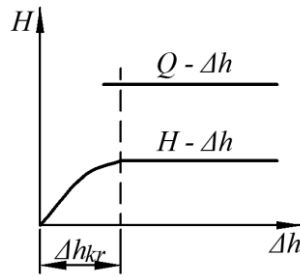
Δh -ı tapmaq üçün nasosu kavitasiya sınağından çıxarmaq lazımdır. Bu sınaq sabit dövrlər sayında və sabit məhsuldarlıqda aparılır

$$n = const, \text{ } \text{ } \text{ } \text{ } = const.$$

Sınağın nəticəsində $H = f(\Delta h)$ - asılılığı qurulur. Δh -ı aşağıdakı düsturla tapmaq olar

$$\Delta h = \frac{P_{at}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - \frac{P_{bux}}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g}.$$

Qrafikadan görünür ki, Δh -ın elə bir qiyməti vardır ki, o qiymətdən kiçik qiymətlərdə kavitasiya yaranır. Bu qiymətə **kritik qiymət** deyilir (Δh_{kr}).



Şəkil

Deməli, Δh_{kr} -ə uyğun h_v və h_c -nin qiymətlərinə buraxıla bilən vakuummetrik sorma hündürlüyü və **sorma hündürlüyü** deyilir.

$$h_{v \text{ bur}} = \frac{P_{at} - P_{bux}}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} - \varphi \Delta h_{kr}.$$

$$h_{c \text{ bur}} = \frac{P_{at} - P_{bux}}{\gamma} - h_{wc} - \varphi \Delta h_{kr}.$$

$\varphi = 1,2 \div 1,4$ - **ehtiyat əmsalı** adlanır. İş prosesində kavitasiyanın alınmaması üçün vakuummetrə nəzarət etmək lazımdır. Bu halda

$$h_v \leq h_{v \text{ bur}}.$$

Δh - Rubnefin aşağıdakı düsturu ilə də tapmaq olar

$$h_{kr} = 10 \left(\frac{n \sqrt{Q}}{c} \right)^{4/3}.$$

$c = 600 \div 1200$ - Rudnef əmsalıdır. c -nin qiyməti nasosun konstruksiyasından asılı olaraq götürülür.

Mərkəzdənqaçan nasosların əsas tənliyi

Mərkəzdən qaçan nasosların əsas tənliyini çıxarmaq üçün aşağıdakı fərziyyələri qəbul edirik. Fərz edilir ki, işçi çarxın kürəklərinin sayı ∞ -dur. Bu o deməkdir ki, işçi çarxda mayenin

hərəkətini oxa simmetrik götürmək olar. Bu zaman nisbi hərəkətdəki hissəciklərin trayektoriyası eynidir və kürəkin formasına uyğundur. Eyni çevrə üzərində olan hissəciklərin sürəti bərabərdir və kürəkə toxunandır. Həqiqətdə isə işçi çarxın kürəklərinin sayı müəyyən miqdarda olur və kürəkin qabaq tərəfində təzyiq çox, arxa tərəfdə az olur. Bernulli tənliyinə görə deməli kürəkin qabaq tərəfində azdır, arxa tərəfdə çoxdur. Yalnız kürəkə yaxın hissəciklərin sürəti və trayektoriyası kürəyə toxunan və onun formasındadır.

II. Hidravlik itkiləri nəzərə almırıq. Bu iki fərziyyəyə görə nasosun yaratdığı basqı nəzəri olacaqdır. Əsas tənliyi çıxarmaq üçün hərəkət miqdarı momentinin dəyişməsi qanunundan istifadə edilir.

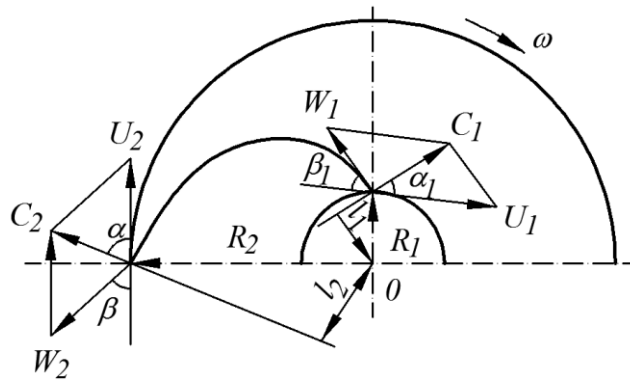
$$M = M_2 - M_1.$$

M - mayeyə təsir edən kürəkin reaksiya qüvvəsinin fırlanma oxuna nəzərən momentidir. M_1 - işçi çarxa mayenin daxil olduğu yerdə hərəkət miqdarı momenti; M_2 - xaric olan yerdə hərəkət miqdarı momentidir.

Vahid zamandakı mayenin kütləsi

$$m = \rho Q_n.$$

Q_n - nasosun nəzəri məhsuldarlığıdır vahid zamandakı hərəkət miqdarı



Şəkil

$$m_c = \rho Q_n c,$$

c – mütləq sürətdir.

$$\bar{c} = \bar{W} + \bar{U}.$$

W - nisbi hərəkətin sürəti; $U = \omega R$ - fırlanma hərəkətinin köçürmə sürəti.

Fırlanma oxuna nəzərən hərəkət miqdarı momenti

$$mcl = \rho Q_n \cdot cl.$$

Şəkildən yazsaq bilərik

$l = R \cdot \cos \alpha$ onda

$$mcl = \rho Q_n \cdot R \cos \alpha.$$

Yuxarıdakı teoremdən istifadə etsək

$$M = \rho Q_n (c_2 R_2 \cos \alpha_2 - c_1 R_1 \cos \alpha_1).$$

Nasosun hidravlik gücünü aşağıdakı kimi tapmaq olar

$$N_n = \rho g Q_n \cdot H_n.$$

Digər tərəfdən həmin güc

$$N_n = M \omega \text{ və ya}$$

$$\rho g Q_n H_n = M \cdot \omega.$$

M -in qiymətini yerinə yazsaq

$$\rho g Q_n H_n = \omega \rho Q_n (c_2 R_2 \cos \alpha_2 - c_1 R_1 \cos \alpha_1),$$

$$\omega R_2 = u_2; \quad \omega R_1 = \omega_1;$$

$$H_n = \frac{c_2 R_2 \cos \alpha_2 - c_1 R_1 \cos \alpha_1}{g}.$$

H_n -in maksimum alınması üçün $\cos \alpha_1$ bərabər olmalıdır. Odur ki, müasir nasoslarda $\alpha_1 = 90^\circ$ götürülür.

Onda

$$H_n = \frac{c_2 u_2 \cos \alpha_2}{g}.$$

Bu düsturu Eyler vermişdir.

Bu mərkəzdənqaçan nasosun əsas tənliyidir. Kürəklərin sayını nəzərə alsaq onda

$$H_{nk} = \varepsilon H_n.$$

Əgər kürəklərin sayı $z = 6 \div 12$ olarsa ε - kürəklərin sayını nəzərə alan əmsal $\varepsilon \approx 0,8$ götürmək olar. Hidravlik itkiləri nəzərə alsaq onda nasosun yaratdığı basqı həqiqi olacaq

$$H = \eta_h \cdot H_{nk} = \varepsilon \eta_h \cdot H_n$$

η_h - hidravlik f.i.ə.-dir.

H_n -in qiymətini yerinə yazsaq.

$$H = \frac{\varepsilon \eta_h c_2 u \cos \alpha_2}{g}.$$

Mərkəzdənqaçan nasosun işçi çarxının kürəklərinin forması

İşçi çarxın kürəklərinin forması əsasən β_1 və β_2 bucaqları ilə müəyyən olunur. **Şəkil 1**-də $\beta_2 < 90^\circ$ -dir kürəkin forması keriyyə əyilmişdir. **Şəkil 2**-də $\beta_2 = 90^\circ$. Kürək radial istiqamətdədir. **Şəkil 3**-də $\beta_2 > 90^\circ$. Kürək irəliyə əyilmişdir. **Şəkillərdən** görünür ki, β_2 bucağı artdıqca c_2 sürəti artır α_2 azalır. Deməli

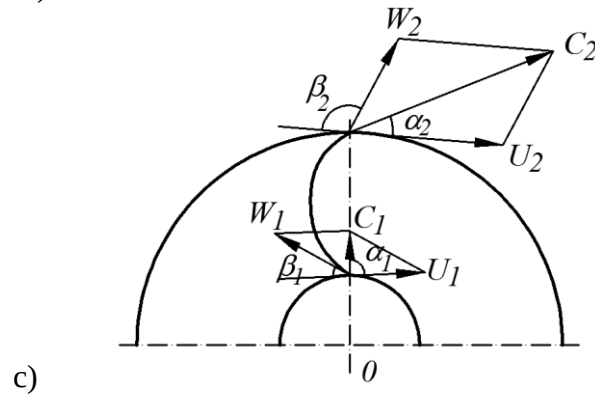
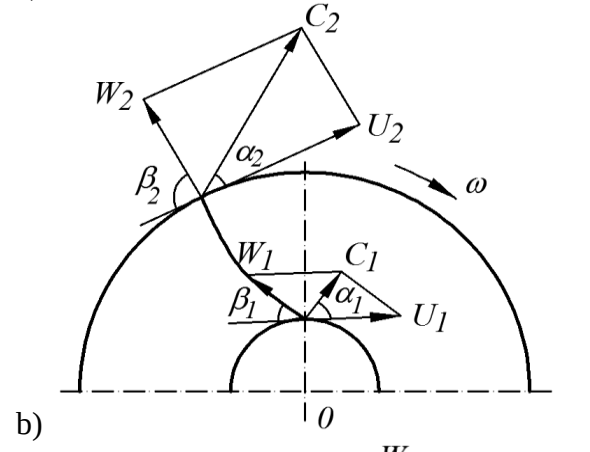
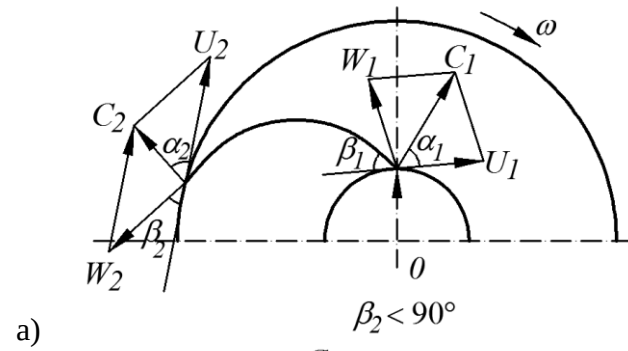
$$\cos \alpha_2 \rightarrow 1.$$

Mərkəzdənqaçan nasosun aşağıdakı əsas tənliyinə görə

$$H = \varepsilon \eta_h \frac{c_2 u \cos \alpha_2}{g}$$

H artır.

Deməli β_2 bucağının artması ilə nasosun yaratdığı təzyiq də artmalıdır. Digər tərəfdən c_2 sürətinin artması ilə hidravlik itkilərdə artır. Bunun nəticəsində də hidravlik f.i.ə. azalır. Deməli, β_2 bucağının artması heç də nasosun təzyiqinin artmasına səbəb olmur. Odur ki, belə məsələni nəzəri yolla yox praktiki yolla həll edirlər. Praktikadan müəyyən olunmuşdur ki



Şekil

$$\beta_2 < 90^\circ$$

olduqda, yəni kürəyin forması geriye əyildikdə əlverişli olur. Praktikadan müəyyən olunmuşdur ki, $\alpha_1 = 90^\circ$, $\alpha_2 = 8^\circ \div 15^\circ$, $\beta_1 = 25^\circ \div 30^\circ$, $\beta_2 = 25^\circ \div 40^\circ$ arasında götürmək lazımdır. İşçi çarxın kürəklərinin sayını təxminən aşağıdakı kimi tapmaq olar

$$z = 6,5 \frac{R_2 + R_1}{R_2 - R_1} \sin \frac{\beta_2 + \beta_1}{2}.$$

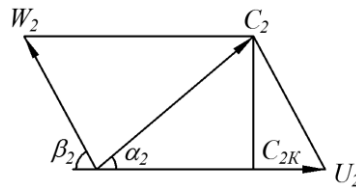
Praktikada $z = 6 \div 12$ olur. İşçi çarx əsasən çuqundan hazırlanır, bürünçdən də hazırlanır. Son zamanlar kiçik çarxların işçi çarxını polietiləndən hazırlayırlar. İşçi çarxın kürəyinin qalınlığı $3 \div 8$ mm olur.

Mərkəzdənqaçan nasosların məhsuldarlığı

Sərfin sabitlik tənliyinə görə mərkəzdənqaçan nasosun nəzəri məhsuldarlığı

$$Q_n = \omega_n C_{2R}.$$

Burada $C_{2R} = C_2 \sin \alpha_2$. C_2 - sürətinin radial proyeksiyasıdır.



Şəkil

$\omega_n = \pi D_2 b_2$ - çıxışda işçi çarxın sahəsi b_2 - işçi çarxın çıxışdakı qalınlığı D_2 çarxın xarici çevrəsinin diametri.

Kürəklərin olması sahəni müəyyən qədər azaldır. Onda həqiqi sahə

$$\omega = \psi_2 \omega_n = \psi_2 \pi D_2 b_2.$$

$\psi_2 = 0,9 \div 0,95$ - kürəklərin olması nəticəsində sahənin olmasını nəzərə alan əmsaldır.

Mərkəzdənqaçan nasosun həqiqi məhsuldarlığı

$$Q = \eta_0 Q_n.$$

$$\eta_0 = 0,90 \div 0,96.$$

Qiymətləri yerinə yazsaq

$$Q = \eta_0 \psi_2 \pi D_2 b_2 c_2 \sin \alpha_2.$$

İşçi çarxın giriş parametrlərinə görə məhsuldarlığı aşağıdakı kimi olur

$$Q = \eta_0 \psi_1 \pi D_1 b_1 c_1 \sin \alpha_1.$$

$$\psi_1 = 0,77 \div 0,83.$$

ψ_1 və ψ_2 -nin kiçik qiymətləri kiçik nasoslara, böyük qiymətləri isə böyük nasoslara aiddir.

Mərkəzdənqaçan nasosların oxşarlığı

Hər bir yeni nasosun konstruksiyası verildikdə və yaxud işçi çarxın kürəkinin yeni forması verildikdə onun modeli üzərində təcrübə aparılır. Təcrübədə nasosun işçi müəyyən faktorların təsiri öyrənilir.

Əgər təcrübədən alınan nəticələr kifayətləndirici olursa, onda həmin nasosun naturasını hazırlayırlar. Modelin hansı ölçüdə hazırlanması və modeldən alınan nəticələrin naturaya köçürülməsi oxşarlıq nəzəriyyəsiindən istifadə olunaraq yerinə yetirilir.

Hidravlika bəhsindən məlum olduğu kimi (oxşarlıq) tam hidravlik oxşarlıq olması üçün həndəsi kinematik və dinamik oxşarlıq olmalıdır.

I. *Həndəsi oxşarlıq.*

Eyni adlı həndəsi parametrlərin model və naturadakı nisbətləri sabit olmalıdır.

$$\frac{R_n}{R_m} = \frac{D_n}{D_m} = \frac{b_n}{b_m} = \dots = \lambda = \text{const.}$$

$$\frac{R_n}{b_n} = \frac{R_m}{b_m} = \dots = \text{const.}$$

Bundan başqa α_1 , α_2 , β_1 və β_2 bucaqların həm modeldə və həm də naturada eyni olmalıdır. Yəni hissəciyin trayektoriyası model və naturada eyni olur.

II. *Kinematik oxşarlıq.*

Burada sürətlərin nisbəti götürülür

$$U \sim nD, \quad c \sim Q/D^2 \text{ (asıllıq)}$$

Sürətlərin nisbəti

$$\frac{c_n}{c_m} = \frac{w_n}{w_m} = \frac{u_n}{u_m} = \frac{n_n D_n}{n_m D_m} = \lambda \frac{n_n}{n_m} = \text{const}$$

və ya

$$\frac{c_n}{u_n} = \frac{c_m}{u_m}; \quad \frac{Q_n}{D_m^2 n_n D_n} = \frac{Q_m}{D_m^2 n_n D_m}; \quad \frac{Q_n}{D_n^3 n_n} = \frac{Q_m}{D_m^3 n_m}.$$

Bundan başqa tam kinematik oxşarlıq olması üçün həndəsi oxşarlığın olması vacibdir.

III. *Dinamik oxşarlıq.*

Məlum olduğu kimi dinamik oxşarlıqda qüvvələrin nisbəti götürülür. Hidravlika bəhsində qüvvələrin növündən asılı olaraq bir çox parametrlər çıxarılmışdır.

Nasoslarda əsas qüvvə təzyiq qüvvəsidir. Odur ki, burada Eyler parametrlərindən istifadə olunur

$$E_u = \frac{P}{\rho c^2},$$

$$P = \rho g H;$$

$$c \sim \frac{Q}{D^2}.$$

$$E_u = \frac{\rho g H D^4}{\rho Q^2} = \frac{g H D^4}{Q^2}.$$

Eyler parametrlərini nasoslara tətbiq etdikdə

$$\frac{Q_n}{D_n^2 \sqrt{H_n}} = \frac{Q_m}{D_m^2 \sqrt{H_m}}.$$

Bundan başqa tam dinamik oxşarlıq olması üçün həndəsi və kinematik oxşarlıq olmalıdır.

Mərkəzdənqaçma nasosların parametrlərinin fırlanma tezliyindən asılılığı (çevrilmə düsturları)

1. Məhsuldarlıq

$$Q = \eta_0 \psi_2 \pi D_2 b_2 c_2 \sin \alpha_2.$$

$\eta_0, \psi_2, \pi, \sin \alpha_2$ -ni həm model həm də naturada eyni götürmək olar

$$\frac{Q_n}{Q_m} = \frac{D_{2n} b_{2n} c_{2n}}{D_{2m} b_{2m} c_{2m}} = \lambda \cdot \lambda \cdot \lambda \cdot \frac{n_n}{n_m},$$

$$\frac{Q_n}{Q_m} = \lambda^3 \cdot \frac{n_n}{n_m}.$$

2. Bacqı

Mərkəzdənqaçan nasosun əsas tənliyinə əsasən

$$H = \frac{\varepsilon \eta_h c_2 u_2 \cos \alpha_2}{g}.$$

$\varepsilon, \eta_h, g, \cos \alpha_2$ - model və naturada eyni götürülür.

$$\frac{H_n}{H_m} = \frac{c_{2n} u_{2n}}{c_{2m} \cdot u_{2m}} = \lambda \frac{n_n}{n_m} \cdot \lambda \frac{n_n}{n_m}.$$

$$\frac{H_n}{H_m} = \lambda^2 \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^2.$$

III. Nasosun gücü

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta}.$$

ρ, g, η - model və naturada eyni götürülür

$$\frac{N_n}{N_m} = \frac{Q_n H_n}{Q_m H_m} = \lambda^3 \frac{n_n}{n_m} \cdot \lambda^2 \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^2.$$
$$\frac{N_n}{N_m} = \lambda^5 \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^3.$$

IV. Nasosun momenti

$$N = M \cdot \omega; \quad M = \frac{N}{\omega}; \quad \omega = \frac{\pi n}{30};$$
$$\frac{M_n}{M_m} = \frac{N_n n_m}{n_n N_m} = \lambda^5 \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^3 \cdot \frac{n_m}{n_n} = \lambda^5 \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^2.$$
$$\frac{M_n}{M_m} = \lambda^5 \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^2.$$

Eyni bir nasosun dövrlər sayını dəyişdirdikdə

$$\lambda = const.$$

Nasosun parametrləri aşağıdakı kimi dəyişəcək

$$\lambda = 1; \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2; \quad \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3; \quad \frac{M_2}{M_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2;$$
$$h_{b_2} = 10 - \left(10 - h_{b_1} \right) \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2.$$

**İşçi çarxın diametrinin kiçikdilməsinin
nasosun parametrlərinə təsiri**

Nasosun işçi çarxını iki halda kiçiltmək olar:

1. İşçi çarxın kənar tərəfləri korroziyaya uğradıqda, yeyildikdə.
 2. Nasosun parametrlərinin dəyişdirməyə məcbur olduqda, daha doğrusu nasosun xarakteristikasını dəyişdirmək lazım olduqda.
- Hər halda işçi çarxın diametrini 10 – 20%-dən artıq kiçiltmək olmaz. Bu zaman nasosun f.i.ə. 1 – 2% azalmış olur. İşçi çarxın diametrinin kiçildilməsindən asılı olaraq nasosun əsas parametrləri aşağıdakı kimi dəyişilir

$$\frac{Q_2'}{Q_2} = \frac{D_2'}{D_2}, \quad Q_2' = Q_2 \frac{D_2'}{D_2}.$$

Burada Q_2 , H_2 , N_2 işçi çarxın xarici çevrəsinin D_2 diametrinə uyğundur.

Q_2' , H_2' , N_2' - işçi çarxın xarici çevrəsinin kiçildilmiş D_2' diametrinə uyğun parametrlərdir.

Bu yuxarıdakı düsturlarda həndəsi oxşarlıq pozulur. Bu düsturlar praktikadan alınmışdır.

Mərkəzdən qaçan nasosun iti getmə əmsalı

İti getmə əmsalı elə bir etalon nasosun dövrlər sayına deyilir ki, o həndəsi oxşar olduğu başqa nasoslarla eyni f.i.ə.-na malik olmaqla bir at qüvvəsi güc yaratdıqda basqısı 1 m olur.

İti getmə əmsalı bir qrup həndəsi oxşar nasoslar üçün eyni olur. Deməli etalon nasos üçün parametrlər aşağıdakı kimi olacaqdır

$$H_s = 1 \text{ m}; \quad N_s = 1 \text{ a.q.}; \quad Q_s = 0,075 \text{ m}^3/\text{san}.$$

İti getmə əmsalı və ya etalon nasosun dövrlər sayı n_s -lə işarə olunur. Nasosun gücü

$$N_s = \frac{\gamma Q_s H_s}{75} \text{ a.q.};$$

$$Q_s = \frac{75 \cdot N_s}{\gamma \cdot H_s} = \frac{75 \cdot 1}{\gamma \cdot 1} = 0,075 \frac{m^3}{san}.$$

n_s - tapmaq üçün çevirmə düsturlarından istifadə edirik

$$\frac{Q}{Q_s} = \lambda^3 \frac{n}{n_s}; \quad \frac{H}{H_s} = \lambda^2 \frac{n^2}{n_s^2}.$$

Buradan λ -nı tapmaq

$$\lambda = \sqrt{H} \frac{n_s}{n};$$

$$\frac{Q}{0,075} = \frac{n}{n_s} \left(\frac{n_s}{n} \right)^3 \sqrt{H^3} = \frac{n_s^2}{n^2} \sqrt{H^3};$$

$$n_s = \frac{1}{\sqrt{0,075}} \cdot \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/2}}.$$

$$\frac{1}{\sqrt{0,075}} = 3,65,$$

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}.$$

İti getmə əmsalına görə nasoslar bölünürlər.

1. Yavaş gedişli nasoslar

$$n_s = (50 \div 80) \frac{D_2}{D_1} = 2,5 \div 3.$$

İşçi çarxın kürəklərinin əmələ gətirdiyi kanalların forması silindrikdir.

2. Normal gedişli nasoslar

$$n_s = (80 \div 150) \frac{D_2}{D_1} = 2.$$

İşçi çarxın kürəklərinin əmələ gətirdiyi kanalın forması girişdə fəza, çıxışda isə silindrikdir.

3. İti gedişli nasoslar.

$$n_s = (150 \div 350) \frac{D_2}{D_1} = 1,4 \div 1,8.$$

İşçi çarxın kürəklərinin əmələ gətirdiyi kanallar dəzə formasındadır.

4. Diaqonal və ya yarımoxlu nasoslar.

$$n_s = (350 \div 500) \frac{D_2}{D_1} = 1,1 \div 1,2.$$

Kanalın forması fəza formadadır.

5. Oxlu və yaxud pərli nasoslar

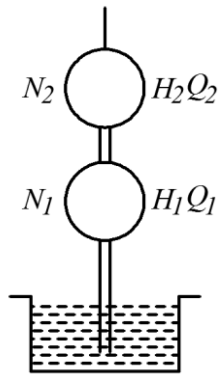
$$n_s = (500 \div 1500) \frac{D_2}{D_1} = 1.$$

Kanal fəza formasındadır.

n_s -in düsturundan görünür ki, yavaş gedişli nasoslar az məhsuldarlıqda yüksək təzyiq yaradırlar, ərsinə iti gedişli nasoslar az təzyiqli çoxlu maye vururlar.

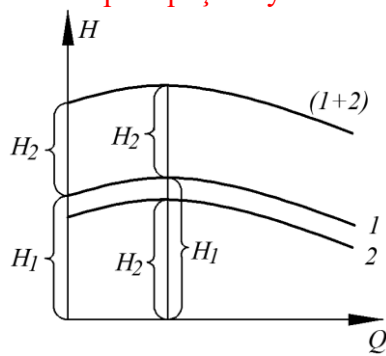
Mərkəzdən qaçan nasosların ardıcıl və paralel birləşməsi

Ardıcıl birləşmə. Təzyiqi artırmaq üçün nasosları ardıcıl birləşdirirlər. Ardıcıl birləşmədə I nasosun vurma borusu, II nasosun sorma borusu ilə birləşdirilir. Beləliklə, basqı nasosların sayından asılı olaraq artır. Məhsuldarlıq isə 1 nasosun məhsuldarlığına bərabərdir. Nasosları bir-də eyni xarakteristikalı ya xud xarakteristikaları təxmini bərabər yaxın olan nasosları birləşdirmək lazımdır. Əks halda nasoslar bir-birinə mane olaraq. Ardıcıl birləşmədə yeni xarakteristikanı almaq üçün eyni absisli nöqtələrin ordinatlarını ν -mək lazımdır.



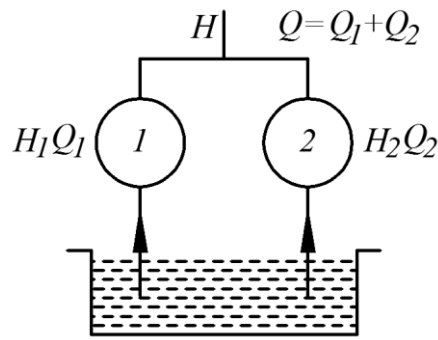
Şəkil

Paralel birləşmə. Ardıcıl birləşmədə yeni xarakteristikalarını tapmaq üçün eyni absisli nöqtələri toplamaq lazımdır.

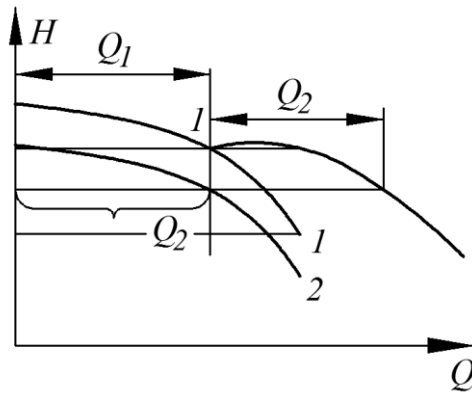


Şəkil

Paralel birləşmədə məhsuldarlıq artır, təzyiq sabit qalır. Cəm xarakteristikasını almaq üçün eyni ordinatlı nöqtələrin absislərini (Q -ni) toplamaq lazımdır. Nasoslar arası məsafə çox olarsa hidravlik itkini də nəzərə almaq lazımdır. Çalışmaq lazımdır ki nasosları ν -də onların xarakteristikaları eyni və yaxud bir-birinə yaxın olsun. Əks halda nasoslar bir-birlərinə mane ola bilər.



Şəkil



Şəkil

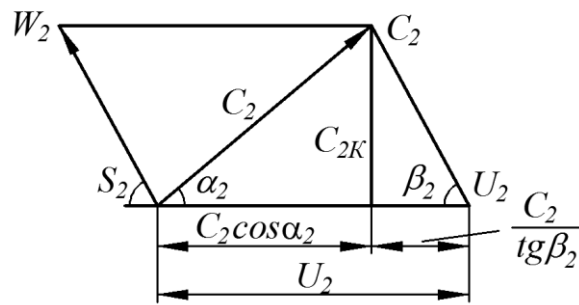
Mərkəzdən qaçma nasosların nəzəri xarakteristikası

$n = \text{const}$ olduqda basqı $H_n = f(Q_n)$ asılılığına **mərkəz-dənqaçma nasosların əsas xarakteristikası** deyilir. Əvvəldən məlumdur ki, mərkəzdənqaçma nasosların nəzəri məhsuldarlığı belə tapılır

$$Q_n = \pi D_2 b_2 c_2 R.$$

Mərkəzdənqaçan nasosun əsas tənliyindən

$$H_n = \frac{c_2 u_2 \cos \alpha_2}{g}.$$



Şəkil

Bunların birinin digərindən asılılıq düsturu çıxaraq

$$\cos \alpha_2 = u_2 - \frac{c_2 R}{tg \beta_2};$$

$$c_2 R = \frac{Q_n}{\pi D_2 b_2};$$

$$c_2 \cos \alpha_2 = u_2 - \frac{Q_n}{\pi D_2 b_2 tg \beta}.$$

Bunu əsas tənlikdə yerinə yazsaq

$$H_n = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2}{g \pi D_2 b_2 tg \beta_2} Q_n.$$

$$\frac{u_2^2}{g} = A \text{ ilə işarə etsək}$$

$$\frac{u_2}{g \pi D_2 b_2 tg \beta_2} = B \text{ ilə işarə etsək nəzəri basqı}$$

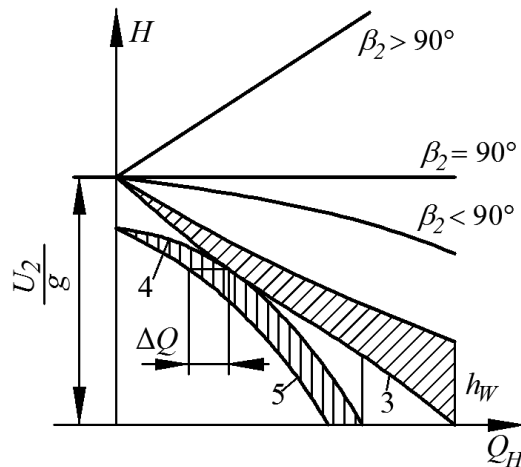
$$H_n = A - B Q_n.$$

Deməli mərkəzdənqaçan nasoslarının nəzəri xarakteristikasıdır

1) $\beta_1 = 90^\circ$; $\operatorname{tg}\beta_2 = \infty$; $B = 0$; $H_n = \frac{u_2^2}{g}$.

2) $\beta_1 > 90^\circ$; $\operatorname{tg}\beta_2 < 0$; $B > 0$ **yəni** Q_n artdıqca H_n artacaqdır.

Praktikada $\beta_2 < 90^\circ$. Bu asılılıqdan istifadə olunur. Kürəklərin sayını nəzərə alsaq $\beta_2 < 90^\circ$ -yə uyğun olan asılılıq absis oxuna yaxınlaşmağa, yəni II dərəcəli düz xətt alınacaqdır. III hidravlik itkiləri nəzərə alır. IV əyri məhsuldarlığın dəyişməsi mayenin daxil və xaric olunmasında yaranan ayrıləri nəzərə alır. V əyri nasosdakı həcmi itkiləri nəzərə alır. Deməli V əyri nasosun həqiqi məhsuldarlığı ilə həqiqi basqısı arasındakı asılılığı ifadə edir.



Şəkil

Yuxarıdan məlum olur ki nəzəri olaraq nasosun xarakteristikası qurduqda bütün faktları nəzərə almaq olmur. Odur ki, nasosun işçi xarakteristikaları qururlar.

Mərkəzdən qaçan nasosların xarakteristikası

Mərkəzdən qaçan nasoslarda sabit dövrlər sayında basqınının və məhsuldarlığının asılılığına **nasosun əsas xarakteristikası** deyilir. Nəzəri olaraq bu xarakteristika düz xətdir. Lakin nasosda itkilər olduğu üçün bu asılılıq praktikada əyri xətti verir

$N = const$ olarsa

Nasosun basqısı

$$H = f_1(Q);$$

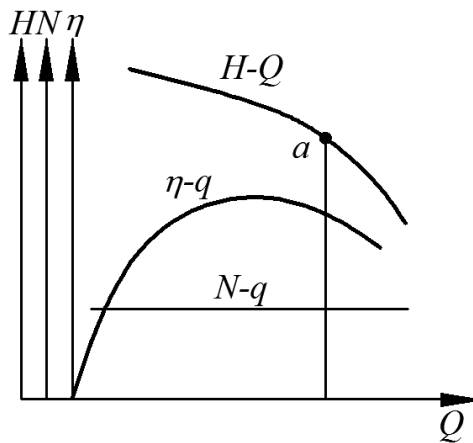
$$N = f_2(Q);$$

$$\eta = f_3(Q).$$

Bu asılılıqlara **universal xarakteristikalar** deyilir.

Universal xarakteristika nasos sınaqdan çıxarılarəkən qurulur. Odur ki bəzən universal xarakteristikaya **nasosun işçi xarakteristikası** da deyilir. Nasosun işçi xarakteristikası çalışmaq lazımdır ki nasos maksimum f.i.ə.-də işlədilsin.

η -nın maksimum qiymətinə uyğun gələn nasosun başqa parametrlərinə **optimal parametrlər** deyilir.



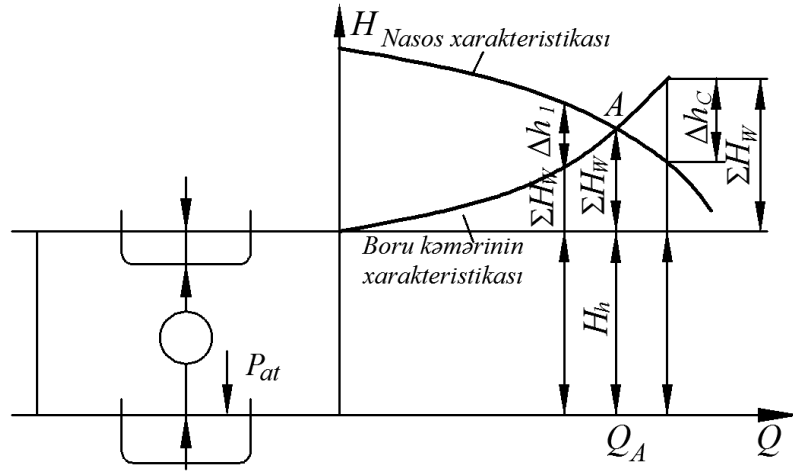
Şəkil

Nasos ilə boru kəmərinin birlikdə işi

Nasosun normal işləməsi üçün nasos ilə boru kəmərinin hesabətını birlikdə aparmaq lazımdır. Yəni nasosun əsas xarakteristikası ilə boru kəmərinin xarakteristikasını bir yerdə qurmaq lazımdır. Boru kəmərinin xarakteristikası aşağıdakı düsturla tapmaq olar

$$H = H_h + \sum H_w,$$

$$\sum H_w = BQ^2.$$



Şəkil

B - sorma və vurma borusunun xüsusi müqavimətidir

$$B = \left(\lambda_c \frac{l_c}{d_c} + \sum \zeta_c \right) \frac{1}{\omega_c^2 2g} + \left(\lambda_b \frac{l_b}{d_b} + \sum \zeta_b \right) \frac{1}{\omega_b^2 2g},$$

$$H = H_h + BQ^2.$$

A nöqtəsi nasos və boru kəmərinin normal işləməsi üçün əlverişli nöqtədir. Boru kəməridən axan mayenin miqdarını Q ilə işarə etsək.

1) $Q < Q_A$. Bu halda nasos Δh_1 qədər artıq basqı yaradacaqdır. Bunun üçün vurma borusu üzərində əlavə yerli itki yaratmaq lazımdır ki, Δh_1 aradan götürülsün.

2) $Q > Q_A$. Onda nasosun yaratdığı basqı tələb edilən basqıdan Δh_2 qədər az olacaqdır. Onda nasos bu miqdarda mayeni vura bilməyəcək. Bu halda ən yaxşı üsül ondan ibarətdir ki, yeni nasos seçilsin, ya da əgər mümkünsə nasosun dövrlər sayını artıraraq onun xarakteristikasını dəyişdirmək ya da boru kəmərinin diametrini artıraraq onun xarakteristikasını dəyişdirmək lazımdır.

Mərkəzdənqaçan nasoslarının konstruksiyasından misallar

I. 3K-B

3 – sorma borusunun diametrinin 25 dəfə azaldılmasını göstərir (75 mm); K – nasosun tipi – konsolnı; 6 – iti getmə əmsalı 10 dəfə azaldılıb ($n_s = 60$); 3KM-6 (M – monoblok).

Bu nasoslar çuqundan hazırlanır. Maye işçi çarxa bir tərəfdən daxil olur

$$Q = 2,4 \div 80 \text{ l/san};$$

$$H = 10 \div 87 \text{ m};$$

$$\eta = (62 \div 83)\%;$$

$$H_v = (5 \div 6) \text{ m};$$

$$H_s = 60 \div 250.$$

II. 20 NDS

20 – vurma patrubkasının diametri 25 dəfə azaldılıb; N – nasos deməkdir; D – (двухсторонний) maye işçi çarxa iki tərəfdən verilir; S – (средний напорный) orta basqılı.

$$Q = 90 \div 12500 \text{ m}^3 / \text{saat};$$

$$H = 10 \div 137 \text{ m};$$

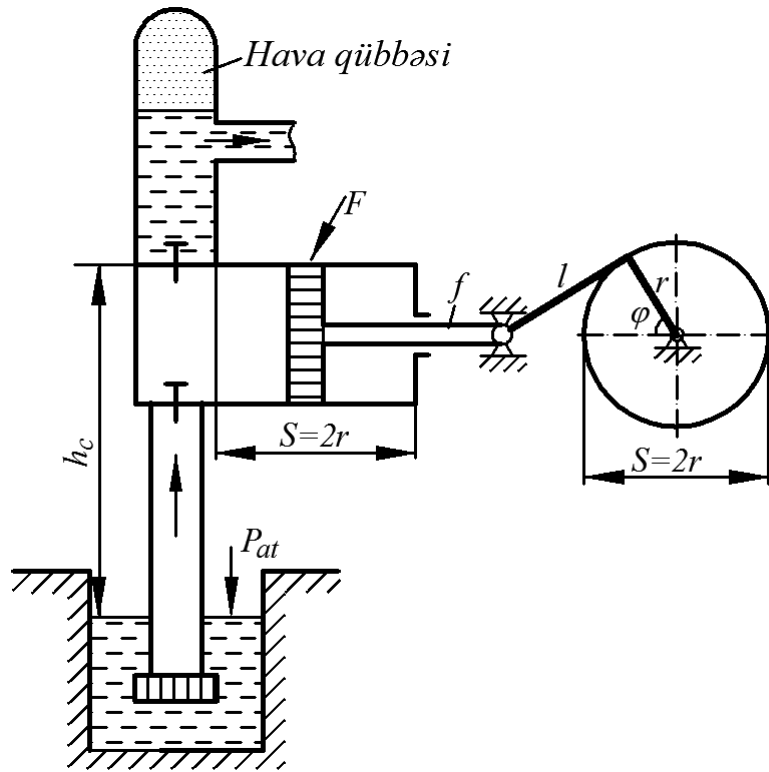
$$\eta = (73 \div 88)\%;$$

$$H_v = (2,7 \div 7) \text{ m};$$

$$H_s = 130 \div 190.$$

Porşenli nasoslar. Sxemi, iş prinsipi. Növləri

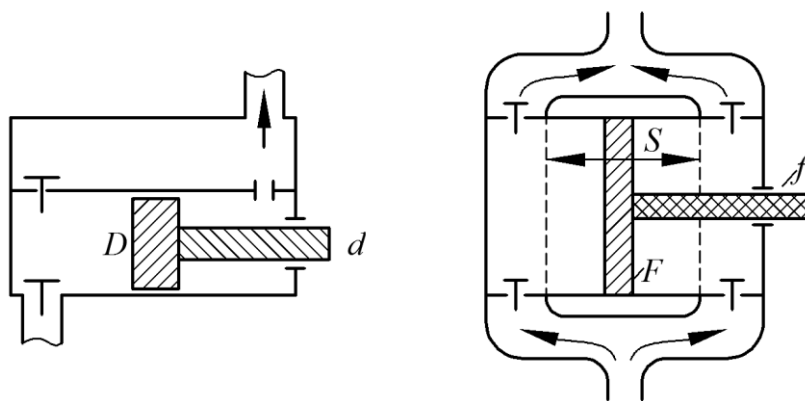
Porşenli nasosların iş prinsipi mayenin sıxılmışdırılmasına əsaslanır. **Şəkil**də bir təsirli porşenli nasosun sxemi verilmişdir. Bir təsirli porşenli nasosun iş prinsipindən görünür ki sorma zamanı vurma, vurma zamanı isə sorma olmur. Yəni hərəkət qeyri-müntəzəm olur. Yəni porşenli nasoslar mayenin porsiyalarla vururlar.



Şəkil

Buna görə də sorma borusunun axırında vurma borusunun əvvəlində hava qübbələri (kompensatorlar) qoyulur. Vurma borusu üzərində olan hava qübbəsi bu cür işləyir. Silindrdən vurulan mayenin bir hissəsi vurma borusuna verilir, bir hissəsi isə hava qübbəsinə verilir. Sorma prosesi olanda təzyiq düşdüüyü üçün hava qübbəsində olan hava genişlənir, mayeni vurma borusuna verilir.

Deməli, bir dəfə sorulan maye vurma borusuna iki dəfə verilir. Bu da hərəkəti müəyyən qədər müntəzəmləşdirir. Bundan başqa hərəkəti müntəzəmləşdirmək üçün nasosların təsirlərinin artırılır. Odur ki, porşenli nasoslar 1, 2, 3, 4 təsirli və diferensial formada olurlar.



Diferensial İkitəsirli porşenli nasos

Şəkil

İkitəsirli porşenli nasosda sorma zamanı vurma, vurma zamanı isə sorma olur və hərəkət müntəzəmləşir. Diferensial nasosda isə bir dəfə sorulan maye plunjerlərin diametrləri fərqindən $(D-d)$ asılı olaraq maye vurma borusuna iki dəfə verilir. Bu da hərəkəti müntəzəmləşdirir. Üçtəsirli porşenli nasos üç dənə bir təsirli porşenli nasosdan ibarətdir.

Porşenli nasosların məhsuldarlığı

Bir təsirli porşenli nasosun nəzəri məhsuldarlığı

$$Q = \frac{FSn}{60} \frac{\text{sm}^3}{\text{san}} \frac{l}{\text{san}}.$$

S – gediş yolu; F – porşenin sahəsi; n – porşenin dəqiqədəki iki qat gedişlərinin sayıdır.

İki təsitli porşenli nasosun nəzəri məhsuldarlığını nasos bir gedişdə vurur

$$Fs + (F - f)S = FS + Fs - fs = (2F - f)S.$$

Bir gedişdə vurulan mayenin miqdarı

$$Q_2 = \frac{(2F - f)Sn}{60} \frac{sm^3}{san} \frac{l}{san}.$$

Üç təsirli nasosun məhsuldarlığı

$$Q_3 = 3Q_1.$$

Dörd təsirli nasosun məhsuldarlığı

$$Q_4 = 2Q_2.$$

Diferensial

$$Q_{dif} = Q_1.$$

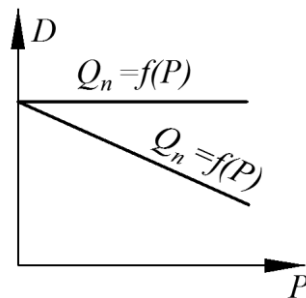
Porşenli nasoslarda tam kiplik əldə etmək mümkün olmur. Klapanlar vaxtında açılıb bağlanmır. Odur ki, həqiqi məhsuldarlıq nəzəri məhsuldarlıqdan fəqlənir. Bunu da həcmi f.i.ə. nəzərə alır.

$$\eta_0 = Q_{həqiqi} - Q_{nəzəri},$$

$$Q_h = \eta_0 Q_n.$$

Porşenli nasoslarda məhsuldarlıq ilə təzyiq arasındakı səth asılılığı vardır. Onlar bir-birindən asılı deyil.

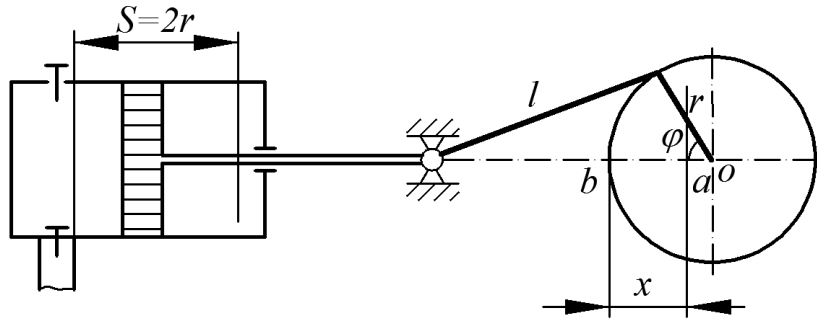
Lakin təzyiq artdıqca həcmi itkilər artır. Odur ki, həqiqi məhsuldarlıq təzyiqdən müəyyən qədər asılı olur. Porşenli nasos əgər tab gətirə bilərsə istənilən təzyiqi yaratmaq olar.



Şəkil

Porşenli nasosların məhsuldarlıq qrafiki

Dirsəkli süncəkli mexanizmdə r/l nisbəti çox kiçik olur. Odur ki, $ab = x$ götürmək olar.



Şəkil

$$x = ob - ao = r - r \cos \varphi.$$

Porşenin sürəti

$$v = \frac{dx}{dt} = r \sin \varphi \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega; \quad v = \omega r \sin \varphi.$$

$\varphi = 0$, $\varphi = \pi$ olduqda (kənar vəziyyətlər) $v = 0$ olur.

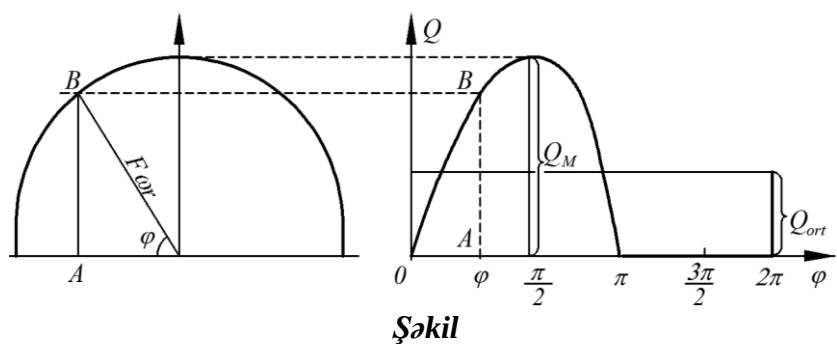
$$\varphi = \frac{\pi}{2}, \quad v = v_{\max} = \omega r.$$

Porşenli nasosun məhsuldarlığı sərfin sabitlik tənliyinə görə

$$Q = Fv = F\omega r \sin \varphi,$$

$$Q_{\max} = F\omega r.$$

Məhsuldarlıq sinusoid qanunu ilə dəyişir



$Q_{ort} 2\pi$ - sinusoidin sahəsi.

Qrafikdən görünür ki, nasosun məhsuldarlığı qeyri müntəzəmdir. Maksimum məhsuldarlığın orta məhsuldarlığa nisbətinə **qeyri müntəzəmlik dərəcəsi** deyilir. Bir təsirli nasos üçün tapaq

$$\varepsilon = \frac{Q_{\max}}{Q_{ort}}$$

$$Q_1 = \frac{Fsn}{60},$$

$$Q_{\max} = F\omega r = F \frac{2\pi n}{60} \cdot r = \frac{Fsn}{60} \cdot \pi.$$

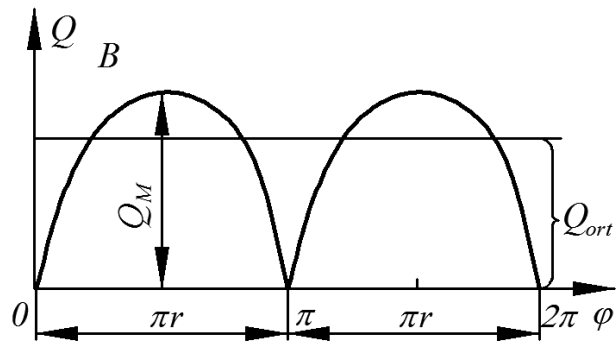
$$\varepsilon = \frac{\frac{Fsn}{60} \cdot \pi}{\frac{Fsn}{60}}; \quad \varepsilon_1 = \pi = 3,14.$$

İki təsirli nasosun orta məhsuldarlığını təxminən iki dəfə bir təsirli nasosun məhsuldarlığına bərabər götürsək

$$Q_2 = 2Q_{1\text{ort}}.$$

Onda iki təsirli nasosun qeyri müntəzəmlik dərəcəsi

$$\varepsilon_2 = \pi/2 = 3,14/2 = 1,57.$$



Şəkil

Üç təsirli nasosun məhsuldarlıq qrafiki

$$\varepsilon_3 = 1,047.$$

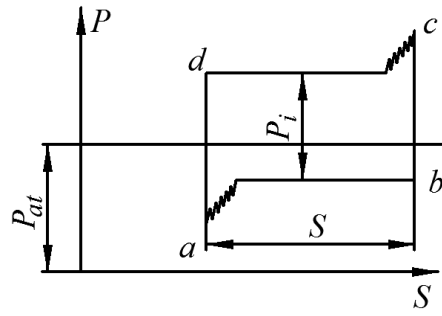
Beş təsirli $\varepsilon_4 = 1,11$.

Üç təsirli nasos ən yaxşı müntəzəm hərəkət edən nasosdur.

Porşenli nasosların indikator diaqramı, indikator gücü və indikator f.i.ə.

Indikator diaqramı indikator adlanan cihaz vasitəsilə çəkilir. Bu porşenin bir gedişində təzyiqin dəyişməsinə göstərir. Planimetrlə indikator diaqramasının sahəsini ölçüb, porşenin gediş yoluna bölsək indikator təzyiqini alırıq.

Əgər nasos normal işləyirsə onun indikator diaqraması **Şəkil**dəki kimi olacaq.



Şəkil

a nöqtəsində sorma, c nöqtəsində vurma klapanı açılır. ab sormanı, cd vurmanı göstərir.

$$P_i = \frac{\omega_{in.diaq.}}{S}.$$

İndikator gücü

$$N_i = \frac{P_i \cdot F \cdot S \cdot n}{60},$$

$$H_i = \frac{P_i}{\rho g} - \text{indikator basqısı adlanır.}$$

$$\frac{Fsn}{60} = Q_n.$$

$$N_i = \rho g Q_n H_z.$$

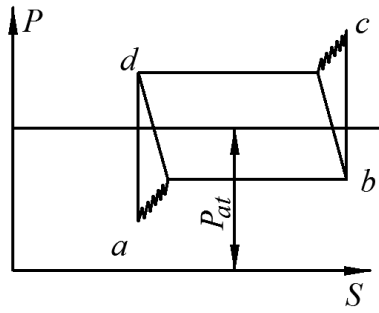
İndikator f.i.ə.

$$\eta_i = \frac{N_\infty}{N_i} = \frac{\rho g Q H}{\rho g Q_n H_z} = \frac{Q}{Q_n} \cdot \frac{H}{H_z};$$

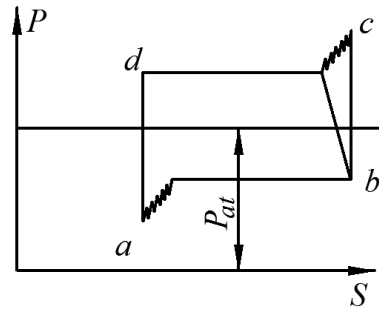
$$\eta_0 = \frac{Q}{Q_n}; \quad \eta_h = \frac{H}{H_z};$$

$$\eta_i = \eta_0 \cdot \eta_h.$$

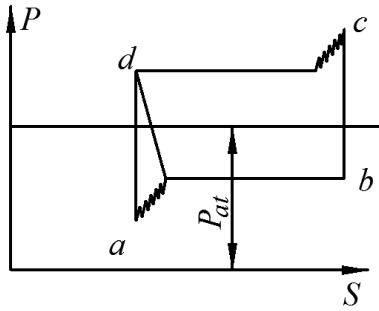
İndikator diaqramı vasitəsilə nasosda olan qüsurları aşkara çıxarmaq olur.



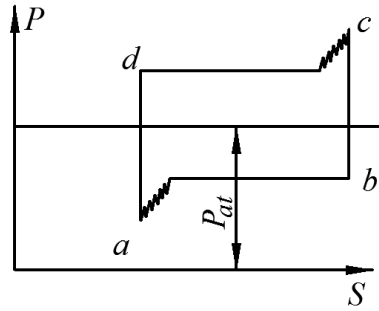
*Hər iki klapan açılmağa
kecikir*



*Sorma klapanı açılmağa
kecikir*



*Vurma klapanı açılmağa
kecikir*



*Sorma borusunda qüsurlu
olduğu üçün tam vakuum
alınmır*

Şəkil

Son zamanlar porşenli nasoslardan neft quyularının ????? geniş miqdarda istifadə olunur. Ona görə də bu nasoslar **palçıq nasoslari** adlanır. Məsələn, NB45-400-950.

N – nasos; B – buruq; 45 - 0; 400 atm; 950 – $V_t = N$.

Porşenli nasoslardan quyulardan nefti çıxarmaq üçün istifadə edilir. Bunlar dəyişiklik nasoslarıdır.

Lövhəli, rotorlu nasoslar və hidromühərrik

Potorlu nasoslarda həcmi nasoslara aiddir. Onların əsas hissəsi stator və rotordur. Statorun sorma və vurma kameraları vardır. Rotorun üzərində sıxışdırıcılar olur. Bunlar porşenli nasoslarda porşenli kördüyü vəzifəni yerinə yetirirlər. Mayeyə bilavasitə sıxışdırıcılar təsir edir. Onlar bir-birinin ardınca işçi həcmə daxil olaraq mayeni sorma kamerasından vurma kamerasına verirlər. Ona görə də bu nasoslarda klapanlara ehtiyac olmur. Mayenin hərəkəti müntəzən olur.

Rotorlu nasoslar əsasən yağları vurmaq üçün istifadə olunurlar. Ona görə də bunların yağlanmağa ehtiyacı olmur. Rotorlu nasoslar çevrilə bilir. Yəni onlar həm nasos kimi və həm də hidravlik mühərrik kimi işləyə bilirlər. Odur ki, son zamanlar həcmi hidravlik ötürmədə rotorlu nasoslardan geniş istifadə olunur. Onlar mühərrik kimi işlədikdə konstruksiyalarında müəyyən dəyişiklik olur. Məsələn, lövhəli nasoslarda lövhələrin öz yerlərindən çıxması üçün oraya yay qoyurlar. Rotorlu nasoslar tənzim olunan və tənzim olunmayan olurlar. Məsələn, lövhəli nasosu eksentrikli dəyişdirməklə olar.

Dişli çarxlı nasosu isə atqı klapanı vasitəsi ilə tənzim etmək olar. Rotorlu nasosların məhsuldarlığı

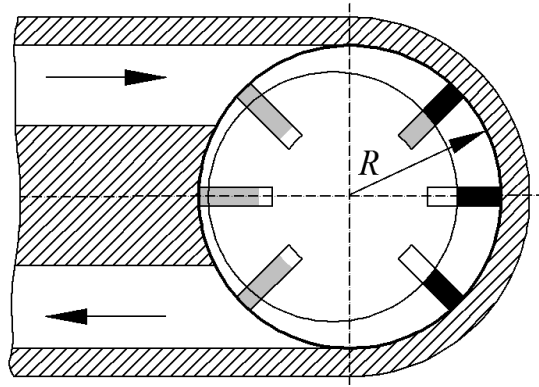
$$Q = \eta_0 \cdot nq \quad \text{l/dəq.}$$

Q – xüsusi həcmdir.

Bu nasoslar olurlar:

- lövhəli;
- dişli çarxlı;
- vintli;
- porşenli.

1) Lövhəli rotorlu nasos. Bunlar bir və iki təsirli olurlar. Sxemi **Şəkil**dəki kimidir.



Şəkil

$$q = 2eb(2\pi R - \delta z)$$

b – rotorun eni; δ - lövhələrin qalınlığı; z – sayıdır; e – eksentrestdir.

Bir təsirli lövhəli nasos 70 atm təzyiq, iki təsirli isə 140 atm təzyiq yaradır.

Bir təsirli - məhsuldarlığı $Q = 100$ l/dəq;

İki təsirli - məhsuldarlığı $Q = 200$ l/dəq;

$z = 6 \div 12$;

$n = 950$ dövr/dəq.

2) Dişli çarxlı nasos – bunlar iki və üç dişli çarxlı ola bilərlər. Bunlar xarici və daxili **ilişmə** olurlar. Bu nasoslar təqribən 200 atm təzyiq, məhsuldarlığı 500 l/dəq, $n = 2950$ dövr/dəq. təqribən olaraq dişli çarxlı nasosun məhsuldarlığını belə tapmaq olar.

$$q = \pi D_b \cdot 2mb; \quad m = \frac{D_b}{z},$$

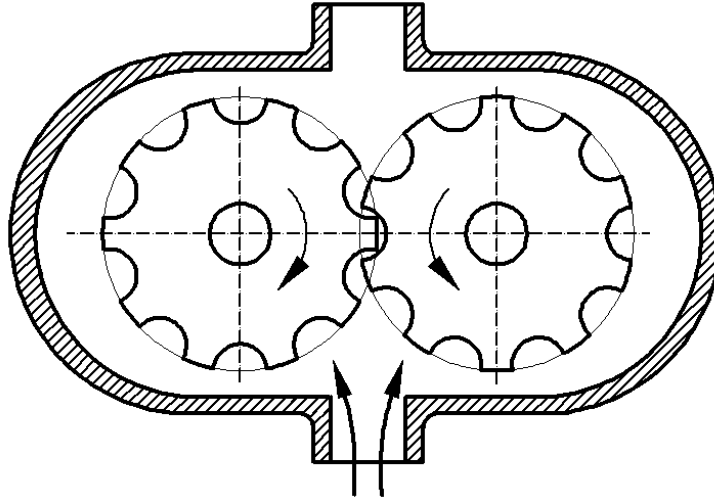
$$q = 2\pi b \frac{D_b^2}{z};$$

D_b - başlanğıc çevrənin diametri;

$$2\pi \approx 7;$$

$$q = 7b \frac{D_b^2}{z};$$

$z = 8 \div 16$ olduqda bu düstur daha dəqiq nəticə verir.



Şəkil

Vintli nasos və vintli hidromühərrik

Vintli nasoslar

Onların məhsuldarlığı

Məhsuldarlığı tənzim etmək üçün klapandan istifadə edilir. Bunlar həm nasos və həm də mühərrik kimi istifadə olunur. Bu nasosun məhsuldarlığı aşağıdakı düsturla tapmaq olar

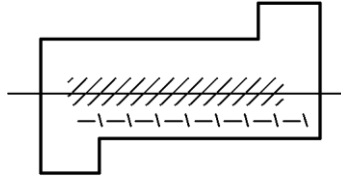
$$q = (F - f)t ,$$

F – gövdənin en kəsik sahəsi; f – vintlərin en kəsik sahələrinin cəmidir; P – vintin addımıdır.

$$F - f = 1,24d^2 .$$

$$t = \frac{10}{3} d; \quad q = 4.14 d^3.$$

α ortadakı aparən vintin diametridir. Bu nasoslarda $Q = 12000$ l/dəq; $P = 200$ atm-ə qədər, $n = 18000$ dövr/dəq.

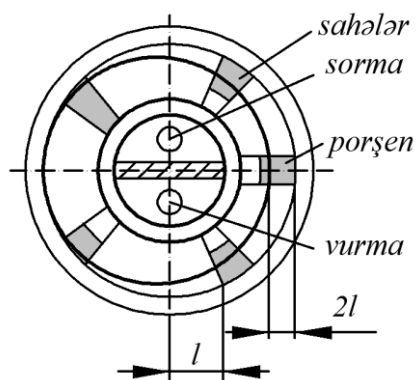


Şəkil

Porşenli nasos və hidromühərrik

Rotorun üzərində bir və bir neçə cərkə silindr yerləşdirilir. Silindrlərin sayı 5 – 7, 9, 11 olur. Tək olduqda hərəkət daha müntəzəm olur. Bunlar yüksək təzyiq yaradırlar və üç moment yaradırlar. Odur ki, hidravlik ötürmələrdə geniş istifadə olunur. Onların xüsusi həcmi dəyişəkdir. Deməli, məhsuldarlığı həm nasosun özü ilə və həm də klapan vasitəsilə tənzim etmək olar

$$q = \frac{\pi d^2}{4} 2lz = lz \frac{\pi d^2}{2}.$$



Çox işlənən nasoslar:

$q = 200 \text{ l/dəq}$; $P = 200 \text{ atm}$.

Şəkil