

***MAYELƏRİN REOFİZİKİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ VƏ BORU
HİDRAVLİKASININ ELEMENTLƏRİ***

Neft-mədən praktikasında neftin texnoloji boru kəmərləri ilə yığılması və magistral kəmərlərlə nəqli zamanı texnoloji proseslərdə müxtəlif reofiziki xüsusiyyətə malik olan mayelərin, həmçinin onların məhlullarının (o cümlədən, qumlu, gilli, sulu və s.) mürəkkəb relyefli və termobarik şəraitdə strukturu tam məlum olmayan hərəkətlərinə tez-tez rast gəlinir. Digər tərəfdən bu sistemlərin, həmçinin neft məhsulları və maye qazların boru kəməri ilə nəqli zamanı texnoloji proseslərin səmərəli idarə olunması hidrodinamiki məsələlərin həlli ilə sıx bağlıdır.

Qeyd olunanları və ümumiyyətlə, «Neftin, qazın boru kəməri ilə nəqli» fənninin «Reologiya» və «Hidravlika» kursları ilə sıx bağlı olduğunu nəzərə alaraq bu fəsildə qısa şəkildə mayelərin reofiziki xüsusiyyətləri və boru hidravlikasının bəzi elementlərinə baxılmışdır.

1.1. Mayələr haqqında ümumi məlumat

Məlumdur ki, təbiətdə mövcud olan bütün cisimlər onları təşkil edən hissəciklər arasındakı qarşılıqlı təsir və atom-molekulyar quruluş, tərkib və termobarik şəraitdən asılı olaraq bərk, maye, qaz və ya plazma halında mövcud olurlar.

Yüksək temperatur, aşağı təzyiqlərdə mayelərin xassəsi qazın, aşağı temperatur və yüksək təzyiqlərdə isə bərk cismin xassəsinə yaxınlaşır. Mayələrə nisbətən qazların molekulları arasındakı məsafə böyük, qüvvə isə kiçik olur. Buna görə də mayələr qazlara nisbətən qüvvənin təsiri ilə az sıxılır. Mayələr axıcılıq qabiliyyətinə malik olduğu üçün yerləşdiyi qabın formasını alır və bu səbəbdən də onlar bərk cisimlərdən fərqlənir, qazlara oxşayır.

Neft-qazçıxarmada, eləcə də karbohidrogenlərin nəqli proseslərində iştirak edən sistemlər (mühitlər) homogen və ya heterogen, bir və ya çoxfazlı, həmçinin bir və ya çoxkomponentli ola bilərlər.

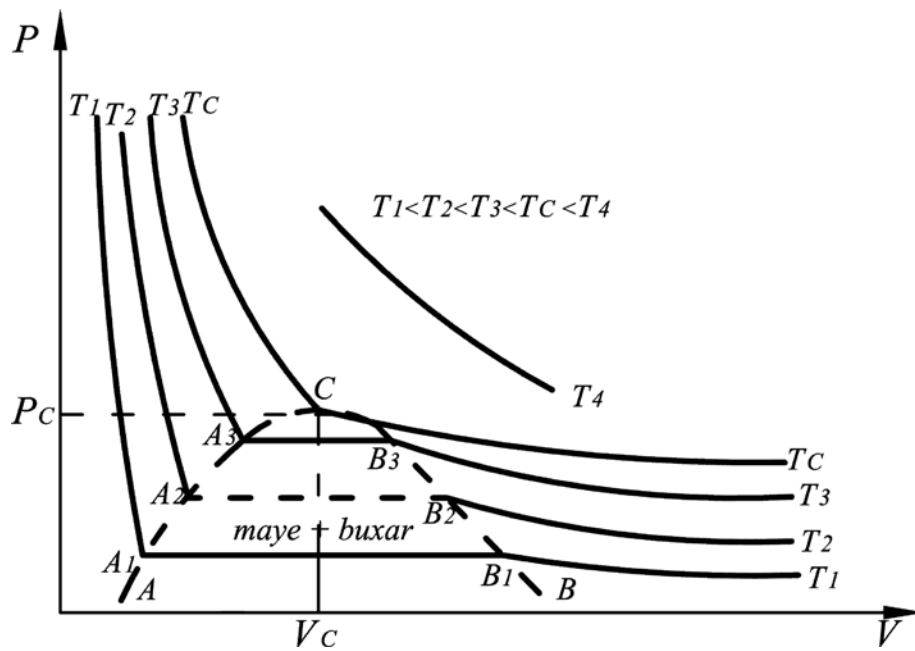
Homogen sistemlərə bütün nöqtələrində eyni xassəyə malik olan bircinsli sistemlər aid edilir. Su, stabilləşmiş neftlər, ayrı-ayrı neft məhsulları və s. bircinsli, yəni homogen sistemlərə aid edilə bilər. Praktiki hesablamalar zamanı doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqdə olan qazlı neftləri də homogen sistemlərə aid etmək olar. Heterogen sistemlər bircins olmayan, çoxfazlı sistemlər hesab edilir. Məsələn, qazlaşdırılmış maye iki fazlı heterogen sistem hesab edilir, hansında ki, bir faza mayedən (su, neft və s.), 2-ci faza isə qazdan (hava, təbii qaz və s.) təşkil olunur. Bu cür sistemlərdə bir və ya bir neçə reofiziki parametrlər həcmə bir nöqtəsindən digərinə keçid zamanı sıçrayışla dəyişə bilərlər. Məsələn, qaz-maye sistemlərində mövcud olan struktur formalarının sərhəddini keçdikdə sıxlığın ani və kəskin dəyişməsi baş verə bilər.

Heterogen sistemlər 3 və daha çox fazlı da ola bilərlər. Məsələn, neft-qaz-su və neft-qaz-su-mexaniki süxur hissəcikləri qarışıqlarından ibarət olan sistemlər uyğun olaraq 3 və 4 fazlı heterogen sistemlər hesab edilir. Qeyd etmək yerinə düşərdi ki, aqreqat halı ilə faza anlayışını bir-biri ilə qarışdırmaq olmaz. Belə ki, müxtəlif rəngli və bir-birində qarışmayan mayelər bir aqreqat halında (maye) olsalar da, müxtəlif xassəyə (rəngə) malik olan ayrı-ayrı fazalardan təşkil olunur.

Faza və komponent anlayışlarını da eyniləşdirmək olmaz. Məsələn, təbii qaz çoxlu sayda ayrı-ayrı qaz komponentlərinin qarışığından ibarət olmasına baxmayaraq, bir fazlı hesab edilir. Sistemdə neçə komponent mövcuddursa, o sayda da kimyəvi elementlər və ya onların birləşmələri olur. Qaz-neft qarışığının nəqli zamanı təzyiqdən asılı olaraq ola bilər ki, bütün qazın hamısı molekulyar səviyyədə həll olsun və bu zaman neft homogen və xassəsinə görə bircinsli hesab edilməsinə baxmayaraq, tərkibində qaz komponentləri olduğu üçün, həm də çoxkomponentli sistem olacaqdır. Bu cür sistemin boru kəmərinə hərəkəti zamanı təzyiqin düşməsi sayəsində həll olan qaz ayrılmağa başlayır və nəticədə sistem çoxkomponentli

olmaqla yenidən iki fazalı heterogen vəziyyətə keçir. Praktikada tətbiq edilən və rast gəlinən sistemlər bircinsli olmaqla çoxkomponentli və əksinə, birkomponentli olmaqla çox fazalı da ola bilərlər.

Maye və qazların temperatur, təzyiq və həcmindən asılı olaraq fazalar nisbəti PVT faza koordinantları (P – təzyiq, V – həcm, T – temperatur) ilə əlaqələnmiş əyrilərlə ifadə edilir. Lakin bu əyrilər çox mürəkkəb olduğuna görə daha sadə qrafiklərdən, məsələn, sabit həcm üçün $P-T$, sabit temperatur üçün $P-V$ əyrilərindən istifadə edilir (şəkil 1.1).



Şəkil 1.1. P , V və T arasında asılılıq qrafikləri

Birkomponentli sistemdə həcm, təzyiq və temperatur arasındakı ($V - P - T$) termodinamik asılılığı göstərilən əyrilərlə izah edək.

AC xətti qaynama nöqtələrinin həndəsi yeridir: doymuş maye xətti adlanır. CB xətti isə kondensasiyanın başlanmasını göstərir (şeh nöqtələrinin həndəsi yeri). AC xəttindən sola yalnız maye, CB xəttindən sağa isə yalnız qaz fazası mövcud olur. ACB əyrisinin daxilində həm maye, həm də qaz fazası mövcuddur. Əgər temperaturu sabit saxlasaq, qaz fazasında təzyiqin azacıq artması onun həcmi çox azalmasına səbəb olar. Bu vəziyyət tədqiq etdiyimiz fərdi maddənin qaz halından maye halına keçməsi başlanana (CB) qədər davam edəcəkdir. Həmin andan

başlayaraq tədricən qazın kondensləşməsi təzyiqin sabit qiymətində onun həcmnin azalmasına səbəb olacaqdır. Bu hal bütün qaz fazasının maye fazasına çevrilməsinə qədər (AC) davam edəcəkdir. Şeh nöqtəsindən doymuş nöqtəyə keçiddə təzyiqin sabit-

liyi birkomponentli sistem üçün əsas şərtidir.

Hər hansı bir komponentli qazın təzyiqini verilmiş temperaturda artırısaq, onu mayeyə çevirmək olar. Lakin bu proses müəyyən temperatura qədər davam edə bilər. Çünki bu temperaturdan yuxarı temperaturda qazın təzyiqinin nə qədər artırılmasından asılı olmayaraq onu mayeyə çevirmək mümkün olmur. Həmin temperatur **böhran temperaturu**, ona uyğun təzyiq **böhran təzyiqi** adlanır.

Böhran (C) nöqtəsinin əsas əlaməti ondan ibarətdir ki, həmin temperaturda maye və qaz fazalarının xassələri eyni olduğundan onlar arasında sərhəd itir.

Təbiətdə rast gəlinən bütün real mayələr bu və ya digər dərəcədə təzyiqdən sıxılmaq, temperaturdan genişlənmək və dartılmaya müqavimət göstərmək xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunurlar. Mayələr üçün bu göstəricilər, həddindən kiçik olduğu üçün adətən, praktiki hesabatlarda nəzərə alınmır.

Mayələrin əsas xüsusiyyətlərindən biri onların sürüşməyə müqaviməti– axıcılıq qabiliyyəti, başqa sözlə özlülüyüdür.

Mayələrin, o cümlədən, yuxarıda qeyd olunan çoxkomponentli və bircinsli olmayan sistemlərin müxtəlif texnoloji proseslərdə və boru hidravlikasında müşahidə olunan halı və özlərini necə biruzə verməsi onların reofiziki xassələri ilə birbaşa bağlıdır. Odur ki, boru hidravlikasının elementlərinə keçməzdən əvvəl qısa da olsa mayələrin əsas reofiziki xüsusiyyətlərinə nəzər salmaq. Lakin ilk öncə neft haqqında.

1.2. Neft, onun tərkibi və təsnifatı haqqında

Neft karbohidrogenlərdən təşkil olunmuş üzvi birləşmədir. Neftin tərkibində karbon və hidrogendən başqa kükürd, oksigen, azot və başqa elementlərə də rast gəlinir.

Tərkibində kükürlü birləşmələrin olması xam neftin keyfiyyətinə pis təsir göstərməklə yanaşı onun nəqli və saxlanması zamanı sistemdə korroziya prosesini gücləndirir. Bir çox neftlərin tərkibində hidrogen-sulfid, çoxlu miqdarda qətran, parafin və asfaltenlər kimi yüksək mələküllü birləşmələr olur ki, bu da neftin reofiziki xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

Neftlər, tərkibində üzvi birləşmələrin olmasına görə aşağıdakı üç qrupa bölünür:

1. Parafinli karbohidrogenlər. Bu tip birləşmələr tərkibində metan sırası olan (doymuş) karbohidrogenlər (C_nH_{2n+2}) ilə təyin edilir və bu birləşmələr kimyəvi cəhətdən daha dayanıqlı olur.

2. Naftenli karbohidrogenlər. Bu cür neftlər doymamış (C_nH_{2n}) sıralı-naften əsaslı karbohidrogenlər hesab edilir.

3. Aromatik karbohidrogenlər. Bu neftlərin tərkibi C_nH_n ifadəsi ilə təyin edilən aromatik birləşmələrdir. Bu neftlər kimyəvi aktiv olmaqla tez oksidləşir və parafinli, naftenli neftlərə nisbətən az rast gəlinir.

Neftin fraksiyaları qaynama temperaturu 150-200 °S olan benzindən, 150-300 °S olan kerosindən, 300-400 °S olan solyardan, 400°S-dən yuxarı temperaturda qaynayan hissəsi isə yağlardan ibarətdir.

Doymuş karbohidrogenlərlə və benzin fraksiyası ilə zəngin olan neftlər kiçik özlülüklü, tərkibində qaz olmayan və ya az həll olan, həmçinin qətranlı, parafinli neftlər isə nisbətən böyük özlülüklü neftlər hesab edilir.

Xam neft emal olunaraq ondan neft məhsulları alınır. Təsnifata görə onlar açıq (müxtəlif markalı benzinlər, dizel yanacağı və s.) və tünd (müxtəlif yağlar, mazut və

s.) neft məhsullarına aid edilir. Buna baxmayaraq neft məhsullarını da, neftlərdə olduğu kimi, əsas fərqləndirən amillər onların reofiziki xüsusiyyətləridir.

1.3. Mayələrin sıxlığı və xüsusi çəkisi

Sıxlıq anlayışı mayenin əsas dinamiki göstəricisi olmaqla kütləsinin həcmdə paylanması ifadə edir. Bircinsli mayenin sıxlığı (ρ) onun kütləsinin (m) həcminə (V) olan nisbəti başqa sözlə vahid maye həcmnin kütləsidir:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Sıxlığın ölçü vahidi $\frac{kq}{m^3}$ (və ya $\frac{q}{sm^3}, \frac{t}{m^3}$) ifadə olunur. Cəvə istisna olmaqla adi mayələrin sıxlıqları suyun sıxlığına yaxındır və təzyiqlik, temperaturdan asılı olaraq çox az dəyişir (cədvəl 1.1).

Cədvəl 1.1

Bəzi mayələrin sıxlığı (atmosfer təzyiqində)

<i>Maye</i>	<i>Temperatur, t, °S</i>	<i>Sıxlıq $\rho_1 \frac{kq}{m^3}$</i>	<i>Maye</i>	<i>Temperatur t, °S</i>	<i>Sıxlıq $\rho_1 \frac{kq}{m^3}$</i>
Su	15	1000	Benzin	15	680 -780
Civə	15	13560	Benzol	0	900
Kerosin	15	790-820	Aseton	20	790
			Neft	20	730 -1060

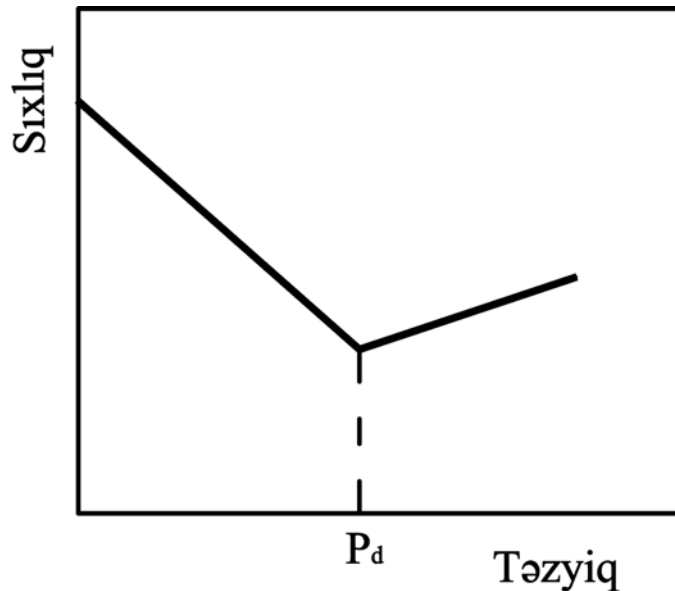
Bir qayda olaraq temperaturun artması ilə sudan başqa bütün mayələrin sıxlığı azalır. Suyun maksimal sıxlığı 4°S-ə uyğun gəlir və qalan temperaturlarda kiçilir.

Təzyiqlik çoxaldıqca mayələrin sıxlığı az da olsa artır.

Neftlərin atmosfer şəraitində sıxlığı 730-1060 $\frac{kq}{m^3}$ arasında dəyişir. Neftdə həll olmuş qazlar onun sıxlığına müxtəlif təsir göstərir. Məsələn, neftdə metan, propan və etilen qazları həll olarsa, təzyiq artdıqca onun sıxlığı azalır, azot və ya karbon qazı həll olarsa, əksinə artır. Qazlı neftlərin sıxlığının təzyiqdən asılı olaraq dəyişməsi qazın neftdə doyma təzyiqindən (P_d) çox asılıdır. Belə ki, əgər sıxlıq doyma təzyiqinə qədər təzyiqdən asılı olaraq azalarsa, doyma təzyiqindən yuxarı təzyiqlərdə sonuncunun artması ilə artır (şəkil 1.2).

Neft və neft məhsullarının atmosfer təzyiqində ölçülmüş sıxlığını başqa temperaturalara çevirmək üçün D.İ. Mendeleev aşağıdakı düsturu vermişdir:

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_t(t - 20)}$$



Şəkil 1.2. Neftin sıxlığının doyma təzyiqindən aşağı və yuxarı təzyiqlərdə dəyişməsi

harada ki, ρ_t, ρ_{20} -uyğun olaraq t və $20^\circ S$ temperaturalarında neft və ya neft məhsullarının sıxlığı; β_t - temperaturdan genişlənmə əmsalındır.

Mayenin sıxlığı məlumdursa, onda onun xüsusi çəkisi $\gamma = \rho \cdot g$ ifadəsi ilə müəyyən edilir (g -sərbəst düşmə təcildir). Xüsusi çəki mayenin vahid həcmnin çəkisi olmaqla $\frac{N}{m^3}$ (və ya $\frac{kq}{m^2 \cdot s^2}$) ilə ölçülür.

1.4. Mayelərin sıxılması və genişlənməsi

Mayelərin təzyiqdən sıxılması **həcmi sıxılma əmsalı** (β_v) ilə xarakterizə olunur və təzyiqin 1 Pa dəyişməsi zamanı maye həcmnin nisbi dəyişməsini göstərir.

$$\beta_v = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}$$

Mənfi işarəsi təzyiqin çoxalması ilə həcmnin azalmasını göstərir. Həcmi sıxılma əmsalının ölçü vahidi $\frac{1}{Pa}$ ilə ifadə olunur. Nəzərə alsaq ki, β_v həmçinin təzyiqin dəyişməsi ilə həm də sıxlığın dəyişməsini ifadə edir, onda $\beta_c = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dP}$ yazıla bilər. Bəzi mayelər üçün həcmi sıxılma əmsalının qiyməti cədvəl 1.2-də verilmişdir.

Cədvəl 1.2

Bəzi mayelər üçün həcmi sıxılma əmsalı ($P \leq 50MPa$)

<i>Maye</i>	$\beta_v \cdot 10^{-10}, Pa^{-1}$	<i>Maye</i>	$\beta_v \cdot 10^{-10}, Pa^{-1}$
<i>Su</i>	4,75	<i>Civə</i>	0,30
<i>Neft</i>	7,40	<i>Benzin</i>	9,20
<i>Efir</i>	11,00	<i>Qliserin</i>	2,50

Həcmi sıxılma əmsalının tərs qiyməti mayenin **həcmi elastiklik modulu** (E_m) adlanır ($E_m = \frac{1}{\beta_v}$). Qeyd etmək lazımdır ki, mayelərin, o cümlədən neftlərin elastiklik modulu E_m təzyiq və temperaturdan asılı olduğu üçün onlar Huk qanununa tam tabe olmur. Su üçün həcmi elastiklik modulunun temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi cədvəl 1.3 - də göstərilmişdir.

Su üçün həcmi elastiklik modulu

<i>Temperatur, °C</i>	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>30</i>
<i>E_m, MPa</i>	<i>1950</i>	<i>2030</i>	<i>2110</i>	<i>2150</i>

Elastiklik modulu $T=273K$ -də yağlar üçün 1350-1750, benzin və kerosin üçün 1300, gil məhlulu üçün isə 2500 MPa təşkil edir. Su çox az sıxılır. Belə ki, təzyiqi 1 atm-a qədər artırıqda suyun həcmi əvvəlki həcmnin $1/20000$ hissəsi qədər azalır. Polada nisbətən bu 100 dəfə çox sıxılma deməkdir. Suyun çox az sıxılmasına baxmayaraq həcmnin böyük olması hesabına neft yataqlarının istismarı zamanı milyonlarla ton neft alınır. Layda təzyiq düşdükcə sıxılmış su özünü elastik yay kimi aparmaqla nefti quyu dibinə itələyir və onun çıxarılmasına kömək edir. Hesablamalar göstərir ki, su tam sıxılmayan olsa idi, onda okeanlarda onun səviyyəsi 30 m-ə qədər qalxardı.

Neftin həcmi sıxılma əmsalı neftdə qazın olub-olmamasından da asılıdır. Tərkibində qaz olmayan neftin həcmi sıxılma əmsalı kiçik ($4-7 \cdot 10^{-10} 1/Pa$), yüngül neftlər üçün bu əmsal nisbətən böyük ($1,4 \cdot 10^{-8} \cdot 1/Pa$) olur.

«Neftin, qazın boru kəməri ilə nəqli» kursunda praktiki məsələlərin əksəriyyətinin həlli zamanı mayeni sıxılmayan qəbul etmək olar. Lakin mayenin reoloji xüsusiyyətindən və texnoloji prosesin xarakterindən asılı olaraq elə hallar da təsadüf edilə bilər ki, orada mayenin sıxılmasının nəzərə alınması yeni effektlərin aşkara çıxarılmasına imkan verir, (məsələn, hidravliki zərbə).

$C = \sqrt{\frac{E_m}{\rho}}$ - həcmi çox böyük olan bircinsli mayedə, yaxud həcmi sərt divarla

hüdudlanan mayedə səsin yayılma sürətidir. Onda

$$d\rho = \frac{dP}{C^2} \quad \text{və ya} \quad C = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$$

Əgər mayenin sıxılmayan olduğunu qəbul etsək, $\rho = const, d_\rho = 0, C = \infty$ olar.

Deməli, böyük həcmli mayelərdə və təzyiqin bir anda dəyişə bildiyi keçid proseslərində $C = \infty$ götürülməsi böyük xətalara gətirib çıxara bilər.

Mayelərin temperaturun təsiri ilə öz həcmi dəyişdirməsi **temperatur genişlənməsi əmsali** β_T ilə xarakterizə olunur. Bu əmsal temperatur 1°C artdıqda maye həcmi nisbi genişlənməsini xarakterizə edir və aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\beta_T = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}$$

Temperatur genişlənməsi əmsali β_T , $\frac{1}{^\circ\text{S}}$ ilə ölçülür, əksər mayelər üçün təzyiq artdıqda β_T azalır. Sıxılmayan mayelər üçün bu əmsal çox kiçik qiymətə malik olur. Məsələn, su üçün 1 atm. təzyiqdə (10-20) $^\circ\text{S}$ temperatur intervalında $\beta_T = 5 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{S}$, 100 atm-də isə $\beta_T = 16,5 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{S}$ təşkil edir. Bəzi mayelər üçün β_T -nin qiymətləri cədvəl 1.4-də verilmişdir.

Cədvəl 1.4

Mayelər üçün temperatur genişlənməsi əmsali

<i>Mayelər</i>	$\beta_T, 1/^\circ\text{S}$	<i>Mayelər</i>	$\beta_T, 1/^\circ\text{S}$
<i>Su</i>	0,00015	<i>Neft</i>	0,00060
<i>Qliserin</i>	0,00050	<i>Civə</i>	0,00018
<i>Spirt</i>	0,00110	<i>Yağ</i>	0,00080

β_T əmsali neftdə həll olmuş qazın miqdarından və təzyiqdən, demək olar ki, asılı deyildir. Ona görə də hesablamalarda qazsızlaşdırılmış neftin normal şəraitdəki temperatur genişlənməsi əmsalından istifadə edilir.

Neft məhsullarının sıxlığı 920-dən 700 kg/m^3 -ə qədər azaldıqda temperatur genişlənməsi əmsali 0,00060-dan 0,00082 $1/^\circ\text{S}$ -ə qədər artır. Qeyd etmək lazımdır ki, β_T -nin qiymətləri çox kiçik olduğu üçün hidravliki hesablamalar zamanı temperatur genişlənməsi adətən, nəzərə alınmır.

1.5. Neftlərdə qazın həll olması. Doyma təzyiqi

Bütün mayelər kimi, neftlər də özündə müxtəlif miqdarda qaz həll edir. Qazın mayədə həll olması və yaxud mayenin qazla doyması həll olma əmsalı (α) ilə xarakterizə olunur. **Həll olma əmsalı** təzyiqin vahid qiymətində vahid həcmdə neftdə həll olmuş qazın miqdarını göstərir.

Təzyiqin kiçik qiymətləri üçün Henri qanununa əsasən həll olmuş qazın miqdarı aşağıdakı ifadədən tapıla bilər:

$$V_q = \alpha P V_M$$

burada P -təzyiq, V_M , V_r -mayenin və onda həll olmuş qazın həcmidir (həll olmuş qazın miqdarı maye və qazın tərkibindən, eyni zamanda temperatur və təzyiqdən asılıdır).

Neftdə ən pis həll olan qaz azotdur. Sabit temperatur şəraitində təzyiqin artması ilə mayədə qazın həll olma prosesi, azalması ilə qazın ayrılma prosesi baş verir ki, buna da **deqazasiya** deyilir.

Neftqazçıxarmada yüksək təzyiq və temperatur şəraitində neftlərdə qazın həllolma və ayrılma proseslərinə çox təsadüf edilir. Neft-mədən təcrübəsindən qazlı mayelər sistemi və onların tətbiqi çox geniş yayılıb. Ümumiyyətlə, neftin istehsalından tutmuş, hazırlanması və nəqli zamanı çox az texnoloji proseslər tapılar ki, orada bu və ya digər formada qazlı maye sistemlərinə rast gəlinməsin.

Xəzər dənizinin Azərbaycan sektorunda istismarda olan sualtı boru kəmərlərində bir çox hallarda quyu məhsullarının yığılı birgə aparıldığı üçün qazlı neftlərin hərəkətinin müxtəlif struktur formaları tez-tez müşahidə olunur.

Neftin tərkibində parafinli karbohidrogenlərin miqdarı artdıqca həll olan qazın miqdarı artır. Aromatik karbohidrogenlər çoxaldıqca isə əksinə qazın həll olması azalır.

Qazın neftdə həll olmasını xarakterizə edən ən mühüm parametr doyma təzyiqidir (P_d). Doyma təzyiqi qaz -maye qarışığında ilk qaz qabarcığının ayrılmasına uyğun gələn və ya qazın neftdə daha həll ola bilmədiyi təzyiqdir. Təzyiq $P > P_d$ olduqda sistem birfazlı-homogen maye, $P < P_d$ olduqda isə ikifazlı (sərbəst qaz və maye) yəni, heterogen qəbul edilir.

Doyma təzyiqi termodinamiki cəhətdən birfazlı müvazinətli sistemin iki fazlı sistemə keçid təzyiqidir. Sistemdə sərbəst qaz fazasının yaranması, onun termik və qazohidrodinamik xassələrinə, texnoloji proseslərin səmərəliliyinə xeyli təsir edir. Bu baxımdan doyma təzyiqi anlayışı və onun düzgün təyin olunmasının əhəmiyyəti böyükdür.

1.6. Mayelərin buxarlanması, qaynaması. Doymuş buxar elastikliyi

Maye molekullarının buxara keçməsi-**buxarlanma**, buxar molekullarının mayeyə keçməsi isə-**kondensasiya hadisəsi** adlanır. Maye öz buxarı ilə müvazinət vəziyyətində ola bilər. Əgər maye uzun müddət qapalı qabda saxlanılsa belə müvazinət öz-özünə yaranır. Yəni, zaman keçdikcə mayedən buxara keçən molekulların sayı buxardan mayeyə keçən molekulların sayına bərabər olur.

Bu zaman buxar doyur və verilmiş temperatura uyğun yaranan təzyiq **doymuş buxar elastikliyi** adlanır. Temperatur artdıqca doymuş buxar elastikliyinə qiyməti də artır. Müxtəlif mayələr üçün buxar elastikliyi müxtəlif olur (cədvəl 1.5.).

Verilmiş temperaturda təzyiqin qiyməti doymuş buxar elastikliyindən kiçik olarsa, mayədə öz buxarı və ya həll olan qaz ilə doymuş qabarcıqlar

Cədvəl 1.5

Müxtəlif mayələr üçün buxar elastikliyi (Pa ilə)

<i>Maye</i>	<i>Mayenin temperaturu, °C</i>					
	<i>0</i>	<i>20</i>	<i>40</i>	<i>60</i>	<i>80</i>	<i>100</i>

<i>Su</i>	613	2332	7350	19894	47334	101325
<i>Yüngül neft</i>	3430	7840	13720	37240	85260	-
<i>Benzin</i>	6468	10682	22538	-	-	-
<i>Qazma məhlulu</i>	-	3136	8320	-	-	-

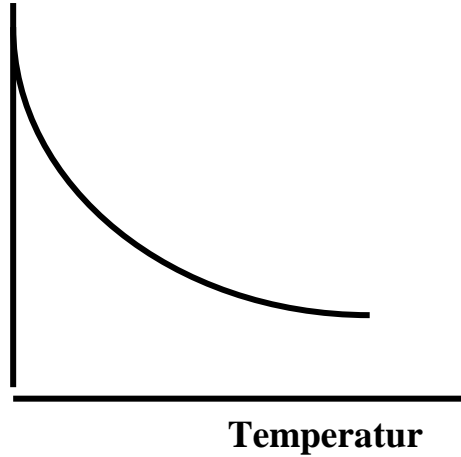
əmələ gəlir və onlar mayedən çıxır.

Bu hadisə «soyuq» *qaynama* adlanır. Deməli, belə çıxır ki, qaynama o zaman baş verir ki, maye olan qalın divarlarında tutulub saxlanılmış (ilişib qalan) və ya mayədə həll olmuş qazın ayrılması nəticəsində qabarcıqlar yaransın. Bu səbəbdən əgər həll olmuş və ya həll olmamış qaz mayedən tamamilə çıxarılsa, onda mayədə verilmiş təzyiqdə qaynama, hətta qaynama temperaturundan böyük temperaturlarda da baş vermir. Qaynama temperaturuna həll olmuş qazla yanaşı digər mexaniki qarışıqların da təsiri böyükdür. Müəyyən olunmuşdur ki, tərkibində asılı vəziyyətdə hissəciklər olan mayələr termodinamik baxımdan dayanıqsız sistemlər hesab edilir. Məsələn, suyun tərkibində olan hissəciklər qaynama agenti rolunu oynayaraq başqa hala keçmə mərkəzinə, soyuma zamanı isə həmin hissəciklər kristallaşma mərkəzinə çevrilirlər.

Neftlərin, neft məhsullarının və maye qazların boru kəmərləri ilə nəqli təcrübəsində nəql sistemlərinin ayrı-ayrı yerlərində təzyiqin doymuş buxar elastikliyindən aşağı düşməsi nəticəsində, axının həmin yerində mayenin qaynamasına səbəb olur ki, buna da *kavitasiya hadisəsi* deyilir. Zərərli kavitasiya hadisəsinə boru hidravlikasının elementlərinin şərhi zamanı bir daha toxunulacaqdır. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, aşağı təzyiqlərdə qaynama (soyuq qaynama) hadisəsindən kimya, metallurjiya, yeyinti sənaye sahələrində, texnikada geniş miqyasda istifadə olunur.

1.7. Mayələrin özlülüü və onların reoloji xassələrinə görə təsnifatı

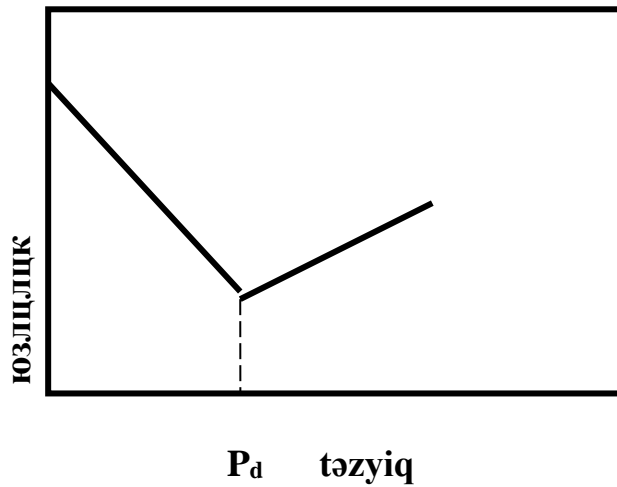
Mayelərin ən əsas reoloji parametri olan **özlülük** mayenin axıcılıq qabiliyyətini xarakterizə edir. Özlülük çoxaldıqca mayenin axıcılıq qabiliyyəti pisləşir, başqa sözlə, hidravliki müqaviməti çoxalır, boru kəmərlərində nəqli zamanı sürtünməyə sərf olunan təzyiq (enerji) itkisi artır. Özlülüyə ən çox təsir edən amil temperaturdur. Temperatur artdıqca mayelərin özlülüyü azalır (şəkil 1.3).



Şəkil 1.3. Özlülüyn temperaturdan asılılığı (viskoqram)

Temperaturun özlülüyə olan təsirinə əsasən yüksək özlüklü neftlərin, neft məhsullarının (mazutun) boru kəmərləri ilə nəqlini qızdırma üsulu ilə həyata keçirirlər.

Təzyiqin çoxalması ilə özlülüyn azalması müşahidə olunur. Lakin bu haldoyma təzyiqinə (P_d) qədər davam edir. Doyma təzyiqindən başlayaraq təzyiqin artması neftin özlülüynü artırır (şəkil 1.4).



Şəkil 1.4. Qazlı neftlər üçün özlülüynün təzyiqdən asılı olaraq dəyişməsi

Onu da qeyd etmək lazımdır ki, müxtəlif qazlar neftin özlülüynünə müxtəlif cür təsir edir. Məsələn, həll olan karbohidrogen qazlarının molekulyar çəkisi artdıqca neftin özlülüynü də azalır. Azotun neftdə həll olması isə neftin özlülüynünü artırır.

Mayelərin özlülüynü təzyiq və onlarda həll olan qazın miqdarından da asılı olaraq xeyli dəyişilir. Məsələn, qazın neftdə həll olması onun özlülüynünü dəfələrlə aşağı sala bilər (şəkil 1.4).

Mayelərin özlülükkləri onların axma əyriləri ilə xarakterizə olunur. Axma əyriləri $[\tau = \mu (\dot{\gamma})]$ sürüşmə gərginliyinin (τ) sürüşmə sürətinin qradientindən ($\dot{\gamma} = \frac{dv}{dr}$) asılılığını ifadə edən əyrilər hesab edilir. Burada

μ -mütənasiblik əmsalı və ya mayelərin **dinamiki özlülüynüdür**.

Dinamiki özlülüynün (μ) ölçü vahidi P_z (puazdır) ($1P_z = \frac{q}{sm \cdot s}$) və ya $Pa \cdot s$.

$$1 Pa \cdot s = 10P_z$$

Mayelərin özlülüynün temperaturdan fərqli olaraq təzyiqdən asılılığı çox az dəyişilir. Ona görə də aparılan hesablamalarda, adətən, təzyiqin özlülüynə təsiri nəzərə alınmır.

Dinamik özlülükdən əlavə kinematik özlülükdən də istifadə olunur. Mayelərin **kinematik özlülüynü** (ν) $\nu = \mu / \rho$ ifadəsinə əsasən tapılır. Kinematik özlülüynün ölçü vahidi St (stoks) adlanır. $1St = 10^{-4} m^2 / s$.

Bəzi mayelərin kinematik özlülüynü cədvəl 1.6 - da verilmişdir.

Cədvəl 1.6

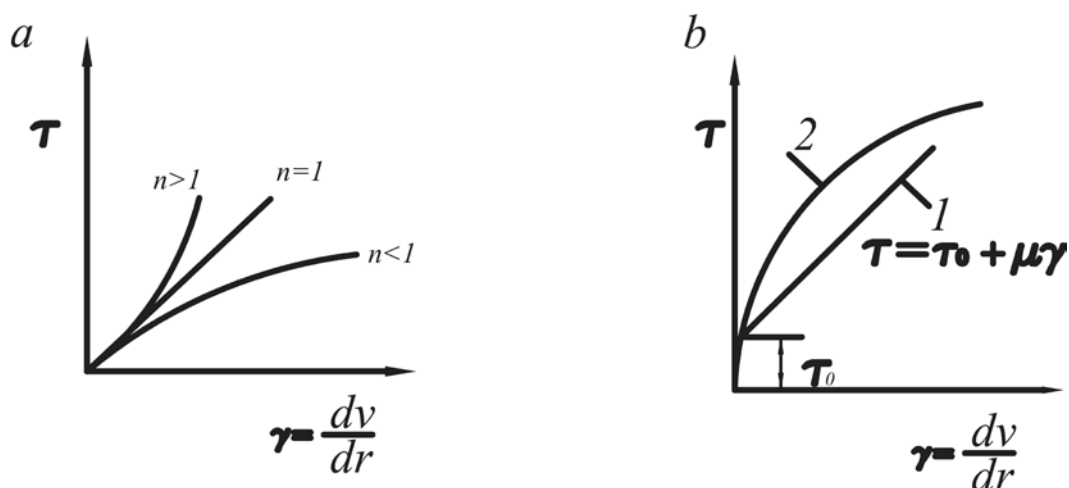
Bəzi mayelərin kinematik özlülüynü ($t = 20^\circ C$)

<i>Maye</i>	$\nu, mm^2 / s$	<i>Maye</i>	$\nu, mm^2 / s$
<i>Benzin</i>	<i>0,6 - 0,8</i>	<i>Dizel yanacağı</i>	<i>58</i>

<i>Kerosin</i>	2,5	<i>Turbin yağı</i>	96
<i>Neft</i>	2-1000 və daha çox	<i>Qliserin</i>	870
<i>Etil spirti</i>	1,54	<i>Transformator yağı</i>	31
<i>Su</i>	1,0		

Mayelərin reoloji xarakteristikalarını ifadə edən bu əlaqələr reologiya elminin tədqiqat obyektini hesab olunmasına baxmayaraq boru hidravlikası, maye və qazların hərəkəti ilə bağlı digər sahələrdə də tədqiq və tətbiq olunur.

«Adi» mayelər üçün göstərilən qanunauyğunluğu ilk dəfə aşkar edən Nyuton olmuşdur. Ona görə də qəbul olunmuşdur ki, əgər maye Nyuton və ya xətti özlülü mayedirsə, onda sürüşmədə yaranan toxunan gərginliklərin ani qiymətləri sürüşmə sürətlərindən asılı düz mütənasib olaraq artır. Nyuton mayeləri üçün özlülük sabit olmaqla *effektiv özlülük* (μ_e) adlanır və $\mu_e = \tau / \dot{\gamma}$ ifadəsi ilə tapılır (şəkil 1.5, $n=1$).



Şəkil 1.5. Mayelərin $\tau = \tau(\dot{\gamma})$ axma əyriləri

a - Nyuton ($n=1$), prevdoplastik ($n<1$) və dilatant ($n>1$) mayelər;

b - özlüplastik (1) və özlüelastik (2) mayelər

Nyuton asılılığına tabe olmayan bütün mayelər şərti olaraq reoloji baxımdan *qeyri-Nyuton* və ya *anomal mayelər* adlanır. Anomal mayelərin sinifləri və reoloji

xarakteristikaları geniş intervalda dəyişdiyi üçün onları dəqiq modellərlə ifadə etmək çətindir.

Lakin buna baxmayaraq, praktikada daha tez-tez rast gələn anomal mayələrin klassifikasiyasını vermək olar. τ ilə $\dot{\gamma}$ arasında qeyri-xətti xarakterə malik mayələrdən özlü-plastik, dilatant, psevdoplastik, özlü-elastik mayeləri misal göstərmək olar (şəkil 1.5).

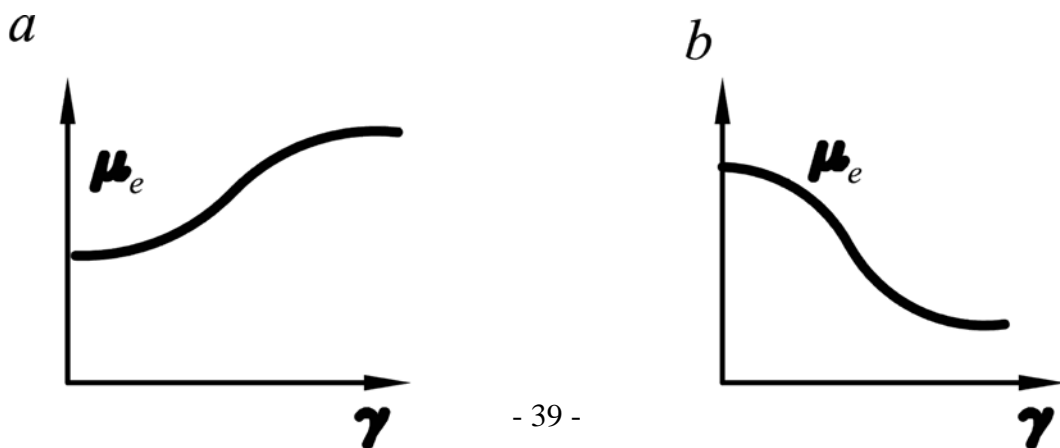
Göstərilən reoloji xüsusiyyətli qeyri-xətti, mayeləri üstlü funksiya modeli, yəni, $\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$ ilə ifadə etmək olar. Burada k -mayenin konsistenti (konsistent mayenin axıcılıq qabiliyyəti olub, özlülüyün analoqudur); n -axının indeksidir, bu da mayenin anomallıq təbiətinin göstəricisi hesab olunur.

Belə ki, $n < 1$ -psevdoplastik, $n > 1$ - dilatant mayeləri, $n = 1$ halı isə adi Nyuton mayələrini xarakterizə edir.

Mayələrin axma əyrilərindən görüldüyü kimi, qeyri-Nyuton mayeləri olan psevdoplastik, özlü-elastik və dilatant mayələr üçün özlülük sürət qradientindən asılıdır və dəyişən kəmiyyətdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu mayələr üçün $\tau = \tau(\dot{\gamma})$ asılılığı $\dot{\gamma}$ -nın kiçik və çox böyük qiymətlərində düz xətti ola bilər.

Dilatant mayələr üçün sürüşmə sürətinin qradienti artdıqca effektiv özlülük çoxalır. Reynolds ilk dəfə sübut etmişdir ki, qum hissəcikləri suspenziyası dilatant xassəyə malikdir. Məsələn, axar qumlar dilatant mühitə aiddir, yəni sürüşmə gərginliyi çoxaldıqca axar qumların özlülüyü artdığından bu qumlardan tez və cəld çıxmağa cəhd etmək mənasızdır.

Dilatant (a) və psevdoplastik (b) mayələr üçün effektiv özlülüyün sürət qradientindən asılılığı uyğun olaraq şəkil 1.6-da göstərilmişdir.



**Şəkil 1.6. Dilatant (a) və psevdoplastik (b) mayelər üçün
özlülüyn dəyişməsi**

Özlü–plastik mayelərin (bəzi neftlər, gil məhlulu, yağlı boyalar, sus-penziyalar və s.) reoloji xassəsindən görünür ki, onları hərəkətə gətirmək üçün $\tau > \tau_0$ olmalıdır (τ_0 –başlanğıc sürüşmə gərginliyidir), yəni, $\tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma}$. Bir çox neftlər tərkibində qətran, parafin, asfalten birləşmələri olduğu üçün onlar tiksotrop-psevdoplastik xassəyə malik olurlar.

Sürüşmə gərginliyinin sabit qiymətində sürüşmə deformasiyasının təsir müddətinin artması ilə effektiv özlülüyn azalması mayelərin teksotropluq xüsusiyyəti ilə bağlıdır. Həmin şəraitdə effektiv özlülüyn artması müşahidə olunan mayelər reopektik mayelər adlanır.

Özlü-elastik mayelər həm özlü, həm də elastik xassəni biruzə verir. Bu tip mayələrə təsir edən hər hansı gərginlik sürət azaldıqca zamandan asılı olaraq artan deformasiyaya səbəb olur. Hal–hazırda mayelərin özlü-elastik xüsusiyyətə malik olmasını sübuta yetirən bir çox effekt və sadə sınaq təcrübələri mövcuddur (Veysenberq effektiv və s.). Özlü-elastik mayelər özlülüklə yanaşı relaksasiya vaxtı adlanan reoloji parametrlə də xarakterizə olunur. Bu cür neftlər boru kəmərinde hərəkət edən zaman təzyiqin atmosfer təzyiqinə kimi azalmasına baxmayaraq hərəkət xeyli vaxt davam edir, onlar nəinki sıxılır, hətta dartılırlar da. Bu cür mayelər yaddaşa malik olur və keçmişini xatırlayırlar (lüləkdən çıxan maye şırnağının genişlənməsi və s.).

Özlü-elastik mühit üçün deformasiya (ε) sürəti:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\mu}, \quad (1.1)$$

burada, E – elastiklik modulu; σ – gərginlikdir.

$\sigma = const$ olduqda (1.1) tənliyi ilə ifadə olunan mühit özlü mühitə uyğun sabit sürətlə deformasiya olunacaqdır. Zamanın $t = 0$ anında $\sigma = \sigma_1$ olduğunu qəbul etsək və $d\varepsilon/dt = 0$ olduğunu nəzərə alsaq, alarıq:

$$\sigma = \sigma_1 e^{-t/\theta} \quad (1.2)$$

Burada $\theta = \mu_t / E$ - relaksasiya və ya gərginliyin zəifləməsinə sərf olunan vaxtdır (μ_t – həqiqi özlülük).

Özlü-elastik mayelərin reoloji parametrlərini təyin etmək üçün kapilyar və rotasion viskozimetr ölçmələrinin məlumatlarından istifadə edilir. Məsələn, kapilyarda mayenin hərəkəti dayandırılmaqla (başlanğıc və sonda kranlar bağlanmaqla) ifadəsinə əsasən təzyiqin bərpa əyrisi qurulur. Təcrübələr göstərir ki, analitik olaraq bu asılılıq aşağıdakı düzxətli qanunla ifadə olunur:

$$\ln \frac{P(\infty) - P(t)}{P(\infty) - P(0)} = a_1 t - a$$

Sonuncu ifadənin asılılığından tapılan a əmsalının $a = t/\theta$ ifadəsindən relaksasiya vaxtı (θ) təyin edilir.

Burada $P(0)$, $P(t)$ və $P(\infty)$ - uyğun olaraq təzyiqin başlanğıc, cari və sonda ($t = \infty$) sabitləşən qiymətləridir.

İndi relaksasiya vaxtının rotasion viskozimetrlə aparılan ölçmələrə əsasən tapılmasına baxaq. Bu üsul **Kros üsulu** adlanır. Mahiyyəti ondan ibarətdir ki, əvvəlcə $\tau = \tau(\dot{\gamma})$ asılılığından effektiv özlülük $\mu_e = \tau / \dot{\gamma}$ təyin edilir və $\tau = \tau(\mu_e)$

asılılığı $\frac{1}{\mu_e^2} = f(\tau^2)$ koordinatlarında aşağıdakı kimi təsvir olunur:

$$\frac{1}{\mu_e^2} = \frac{1}{\mu_t^2} + \frac{\tau^2}{4E^2 \mu_t^2}$$

Bu isə asılılığın τ^2 oxuna paralel hissəsi özlü axınını, paralel olmayan hissəsi isə özlü-elastik axını ifadə edir.

Tərkibində asfalten, qətran və parafin birləşmələri olan neftlərin reoloji xassələrinə polimer və həlledicilərin təsiri rotasion viskozimetrlə («Reotest-2»)

öyrənilmiş və effektiv özlülük, relaksasiya vaxtının necə dəyişməsi təyin edilmişdir. Məsələn, polizobutilen polimer maddəsinin parafinli və asfaltenli neftlərin reoloji xassələrinə təsiri cədvəl 1.7.-də həlledicinin (kerosinin) miqdarından asılı olaraq reoloji parametrlərin dəyişməsi isə cədvəl 1.8-də göstərilmişdir.

Cədvəllərdən göründüyü kimi, qeyri-Nyuton neftlərə qatılmış polimer və həlledicilərin miqdarını seçməklə onların reoloji parametrlərini azaltmaq mümkündür. Məsələn, parafinli neftlər üçün polimerin bu qiyməti 0,02% təşkil edir.

Cədvəl 1.7

Polimerin neftlərin reoloji xassələrinə təsiri ($T=297^{\circ}K$)

Polimerin qatılığı	Effektiv özlülük, $\mu_e, Pa \cdot s$	Relaksasiya vaxtı, θ, s
Parafinli neftlər		
0	0,299	0,0196
0,01	0,177	0,0177
0,02	0,119	0,0133
0,05	0,140	0,0147
0,10	0,162	0,0162
0,40	0,180	0,0168
Asfaltenli neftlər		
0	0,466	0,0122
0,03	0,443	0,0121
0,04	0,436	0,119
0,05	0,426	0,0118
0,05	0,430	0,0118
0,08	0,440	0,0121
0,11	0,470	0,0123

Həllədicinin (kerosinin) neftin reoloji parametrlərinə təsiri (Kürsəngi yatağının nefti ($T=297^{\circ}K$))

Həllədicinin miqdarı, %	Effektiv özlülük, $\mu_e, Pa \cdot s$	Relaksasiya vaxtı, $\theta, 10^{-3} s$
24	0,062	2,65
3	0,047	2,49
36	0,037	3,07
42	0,035	4,78
54	0,030	4,20
60	0,023	3,92
72	0,020	3,44

1.8. Ağırılıq qüvvəsinin təsiri altında olan mayedə hidrostatik təzyiq və onun paylanması

Hidravlikanın bölməsi olan hidrostatikada mayelərin sükunət halında müvazinət qanunları öyrənilir və bu qanunların praktiki əlavələrinə baxılır.

Əgər mayenin sərbəst səthindəki təzyiqi P_0 qəbul etsək, onda **hidrostatikanın əsas tənliyini** aşağıdakı kimi yazmaq olar:

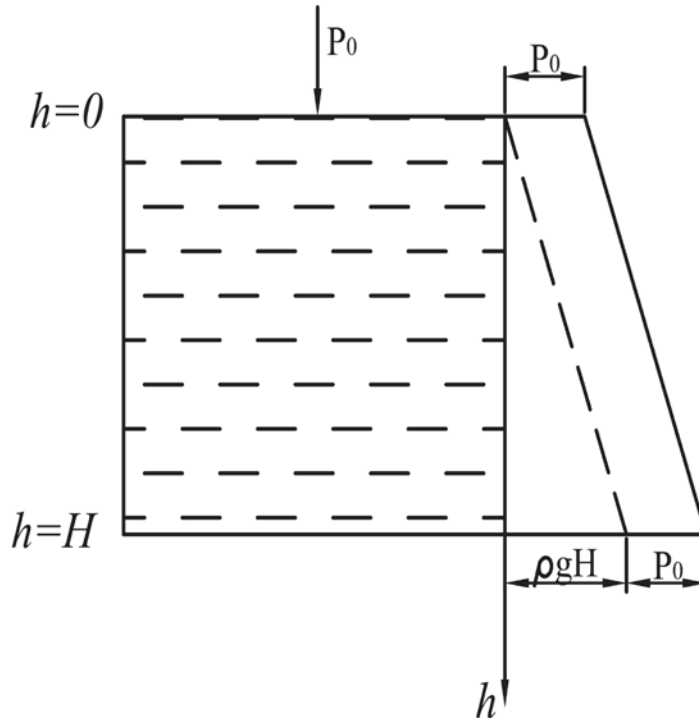
$$P = P_0 + \rho gh \quad (1.3)$$

Burada ρ və h – uyğun olaraq mayenin sıxlığı və sütunun hündürlüyüdür.

(1.3) ifadəsi ilə təyin olunan hidrostatik təzyiq boru kəmərləri kimi qapalı sistemlərdə və s. P_0 nəzərə alınmadığı üçün $P = \rho gh$ ifadəsi ilə qiymətləndirilir.

Bir çox praktiki məsələlərin həllində, məsələn, neft və ya neft məhsulları saxlanan çənlərdə, çənin divarına düşən və ya dolma dərinliyi boyunca hidrostatik

təzyiqin paylanması tapılması tələb olunur (1.3) ifadəsindən görüldüyü kimi hidrostatik təzyiq maye sütunun hündürlüyündən asılı olaraq düz xətt qanunu ilə dəyişir. Çəndə təzyiqin paylanması şəkil 1.7- də göstərilib.



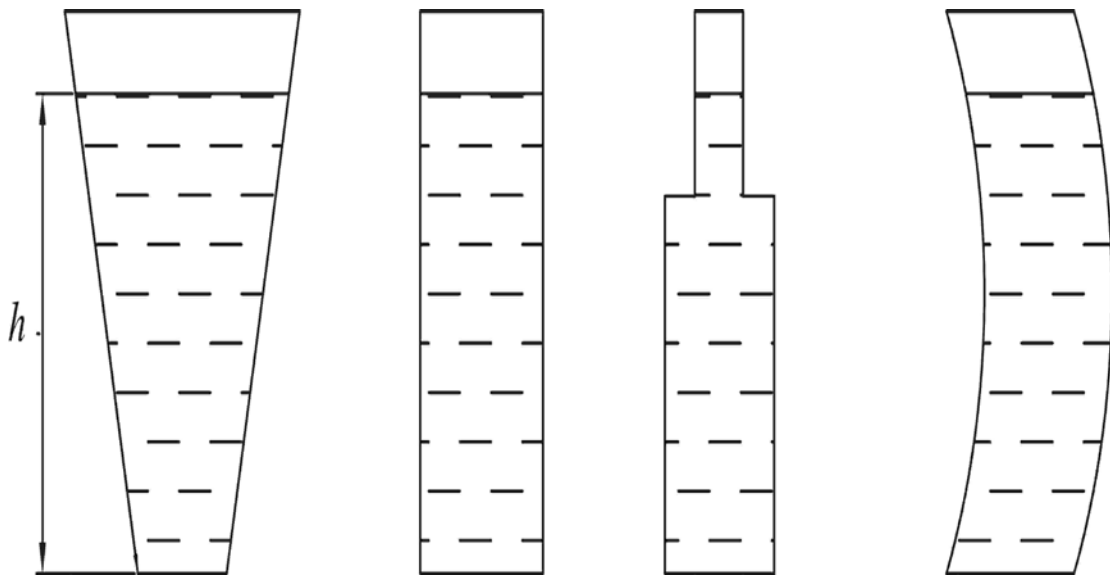
Şəkil 1.7. Neft çəndə hidrostatik təzyiqin paylanma epürü

Neft və neft məhsulları kəmərlərinin layihələndirilməsi və hesablanması zamanı trasın profilinin (nivelir hündürlüklərinin) hidrostatik təzyiqlə bir başa əlaqəli olması nəzərə alınmalıdır. Neft kəmərlərinin istismarı zamanı qəza halları ilə bağlı baş verən karbohidrogen itkiləri hidrostatik təzyiqdən çox asılı olur.

Qeyd etmək lazımdır ki, mayelərdən fərqli olaraq təbii qazlar üçün göstərilən tənlik yaramır. Ona görə ki, qazların sıxlığı təzyiqdən asılı olaraq dəyişilir.

Hidrostatik təzyiqin bir neçə xassələri vardır. Bunlardan biri odur ki, hidrostatik təzyiq səthə normal təsir edir və maye həcmnin daxilinə yönəlir. İkinci xassə ondan ibarətdir ki, hidrostatik təzyiq təsir səthinin səmtindən asılı olmayaraq bütün istiqamətlərdə eyni təsir göstərir.

Neft-mədən praktikasında bir çox texnoloji proseslərdə maye və qazın hərəkətində həmçinin statik vəziyyətdə materialın qalınlığı, növü və s. seçilməsi üçün təzyiqlə möhkəmliyin hesablanması təzyiqlə qüvvəsinin təyini də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. İlk dəfə Qaliley tərəfindən müşahidə olunmuşdur ki, qabın dibinə düşən təzyiqlə qüvvəsi onun forması və həcmindən deyil, dibin sahəsi və maye sütununun hündürlüyündən asılıdır. Odur ki, oturacaq sahəsi eyni olan müxtəlif formalı və həcmli qablara eyni hündürlükdə doldurulan eyni bir mayenin dibdə yaratdıqları təzyiqlə qüvvəsi eynidir. Hidrostatik paradoks kimi elmə məlum olan bu nəticə şəkil 1.8-də göstərilmişdir.



Şəkil 1.8. Hidrostatik paradoks

1.9. Mayeyə batırılmış cismin müvazinəti (Arximed qanunu)

Neft və qaz kəmərlərinin, əsasən isə dəniz sualtı kəmərlərinin çəkiliş təcrübəsində kəmərlərin ballastirovka olunmasının, başqa sözlə, dənizin dibinə endirilməsinin onların dayanıqlılığının təmini baxımından əhəmiyyəti çox böyükdür.

Bir qayda olaraq, bu məsələnin həlli üçün kəmərlərin ağırlaşdırılması üsulundan istifadə olunur ki, bu da xüsusi beton örtüklərin və ya ağırlaşdırıcı çuqun və s. yüklərin köməyi ilə həyata keçirilir. Hər iki halda məsələnin həlli mayeyə batırılmış

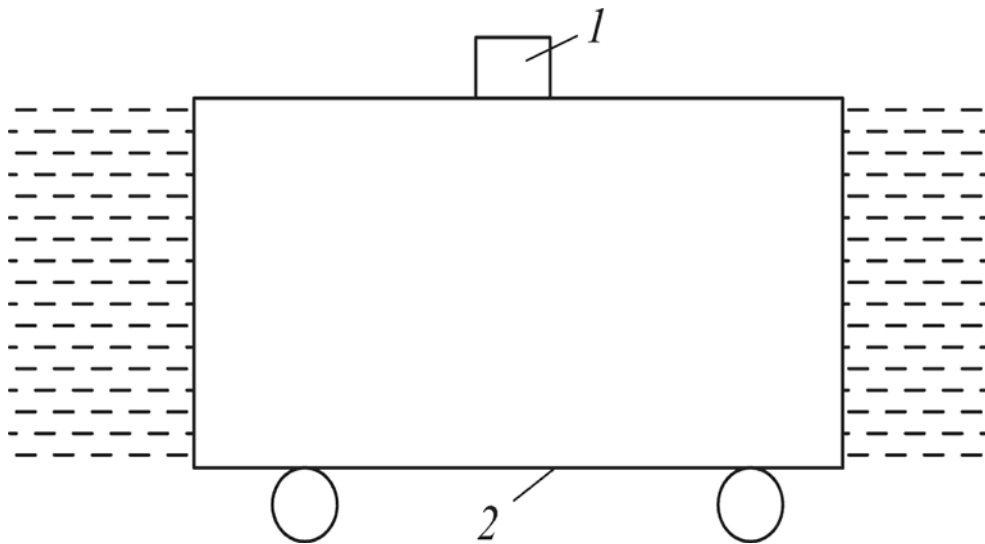
cismin müvazinətinin müəyyən edilməsi, yəni Arximed qüvvəsinin hesablanması ilə bağlı olur. Yəni, suya batırılmış cismin tarazlıq şərti məlum olmalıdır. Əgər suya batan cismin həcmi V_b , onun ağırlıq qüvvəsini F_G və Arximed qüvvəsinin $F_{arx} = \rho g V_b$ olduğunu nəzərə alsaq, onda tarazlıq şərtini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$F_G = \rho g V_b$$

Arximed qanunu adı ilə məşhur olan bu ifadəyə əsasən dəniz neft-qaz qurğularının tikintisi, gəmiqayırma, çənlərdə səviyyənin ölçülməsi və tənzimlənməsi üçün qurğuların hesablanmasında, sərf ölçələrdə və s. geniş istifadə olunur.

Məsələ: Sıxlığı $\rho_b = 740 \text{ kq/m}^3$ olan benzini həcmi $V = 60 \text{ m}^3$, kütləsi $m = 23000 \text{ kq}$ olan dəmiryol sisternasına hansı həcmdə doldurmaq lazımdır ki, suda daşınan zaman sisterna boğazına kimi (1) suya batmış olsun (boğazın həcmi kifayət qədər kiçik olması qəbul olunur) (şəkil 1.9).

Həlli: Arximed qanuna əsasən cismin suda üzməsi şərti $F_{arx} = F_G$. Baxılan halda suya təkə faydalı həcmi V olan sisterna, həmçinin həcmi V_m olan metal (sisternanın materialı), platforma, təkər cütləri və s. batırılmışdır.



Şəkil 1.9.
Dəmiryol

sisternasının suda daşınması

Ona görə suya batan həcm ($V_{s.b.}$).

$$V_{s.b.} = V + V_m$$

harada ki, $V_m = m / \rho_m$

Metalın polad olduğunu nəzərə alsaq, $\rho_m = 7800 \text{ kq} / \text{m}^3$ onda

harada ki, $V_m = m / \rho_m$

Metalın polad olduğunu nəzərə alsaq, $\rho_m = 7800 \text{ kq} / \text{m}^3$ onda

$$V_{s.b.} = 60 + \frac{23 \cdot 10^3}{7,8 \cdot 10^3} = 62,9 \text{ m}^3$$

Arximed qüvvəsi $F_{arx} = \rho_s \cdot g V_{s.b.} = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 62,9 = 617 \text{ kN}$

Sisternanın ağırlıq qüvvəsi, benzın də daxil olmaqla

$$F_G = mg + V_b \cdot \rho_b \cdot g$$

Onda aşağıdakı tarazlıq şərtini yazmaq olar:

$$F_{arx} = F_G = mg + V_b \cdot \rho_b \cdot g$$

Sonuncu ifadədən sisternanın suya batan hissəsinin həcmını aşağıdakı kimi təyin edirik:

$$V_b = \frac{F_{arx} - mg}{\rho_b \cdot g} = \frac{618000 - 23000 \cdot 9,81}{740 \cdot 9,81} = 53,9 \text{ m}^3$$

Baxılan halda metal həcmının suya batırılmasından yaranan Arximed qüvvəsinin nəzərə alınmaması hesabına benzının həcmının nə qədər azalmasını tapaq:

$$\Delta V = \frac{V_m \cdot \rho_s \cdot g}{\rho_b \cdot g} = \frac{2,9 \cdot 1000 \cdot 9,81}{740 \cdot 9,81} = 4 \text{ m}^3$$

Başqa sözlə, metal həcmının nəzərə alınmaması benzının həcmını 7%-dən çox azaldacaqdır.

1.10. Hidrodinamika məsələləri. Maye hərəkətinin öyrənilmə metodları və növləri

Hidrodinamika, hidravlikanın bir qolu olub mayelərin, o cümlədən onların qarışıqlarının hərəkət qanunlarını öyrənir. Mayenin hərəkəti daha mürəkkəb olmaqla bərk cisimlərin hərəkətindən xeyli fərqlənir. Əgər sükunətdə mayenin vəziyyəti

ancaq hidrostatik təzyiqlə xarakterizə olunursa, hərəkət zamanı bundan əlavə maye hissəciklərinin sürətindən də asılı olur. Ümumi halda mayenin hərəkəti zamanı müxtəlif nöqtələrdə təzyiq və sürət müxtəlif olmaqla yanaşı zamandan da asılı olaraq dəyişə bilər.

Real mayelərin hərəkətinə sürtünmə qüvvəsinin hesabına, sükunət halından fərqli olaraq, toxunan gərginlik təsir göstərir və bu təsir artıq qeyd olunduğu kimi mayenin özlülüyündən çox asılı olur.

Hidrodinamik tədqiqatlarda əsas məqsəd maye hərəkətinin əsas göstəriciləri olan axının sürəti, təzyiqi və s. təyin etməkdir.

Hidrodinamikada maye hərəkətinin analitik tədqiqatı zamanı prinsipcə bir-birindən fərqli olan Laqranj və Eyler üsullarından istifadə olunur.

- Laqranja görə mayenin hərəkəti onun hissəciklərinin koordinatlarının zamandan asılı olaraq dəyişməsi deməkdir. Başqa sözlə mayenin axını haqqında tam mülahizə yürüdərkən maye hissəcikləri trayektoriyalarının yığılmasına baxmaq lazımdır.

Lakin təbii ki, və maye kütləsinin hərəkəti haqqında tam məlumat verməsinə baxmayaraq, hərəkət tənliklərinin mürəkkəbliyi və çətin həll olunması ucbatından Laqranj üsulu geniş yayılmamışdır.

- Eyler üsuluna görə ayrı-ayrı maye hissəciklərinin hərəkəti izlənilir və onların hərəkət trayektoriyaları ayrı-ayrılıqda maraqlıdır. Yəni, Eylerə görə tam maye axını baxılan zamanda fəzanın tərpənməz nöqtələrinə aid olunan sürətlər vektoru sahəsi ilə ifadə edilir. Yəni, yerli sürətin zamandan asılı olaraq dəyişməsinə nəzarət edilir. Bu üsulda maye axınının fəzada zamandan asılı sürətlər sahəsi sürət vektorunun tərpənməz Dekart koordinat sistemində proyeksiyaları ilə verilir:

$$U_x = f_1(x, y, z, t); \quad U_y = f_2(x, y, z, t); \quad U_z = f_3(x, y, z, t);$$

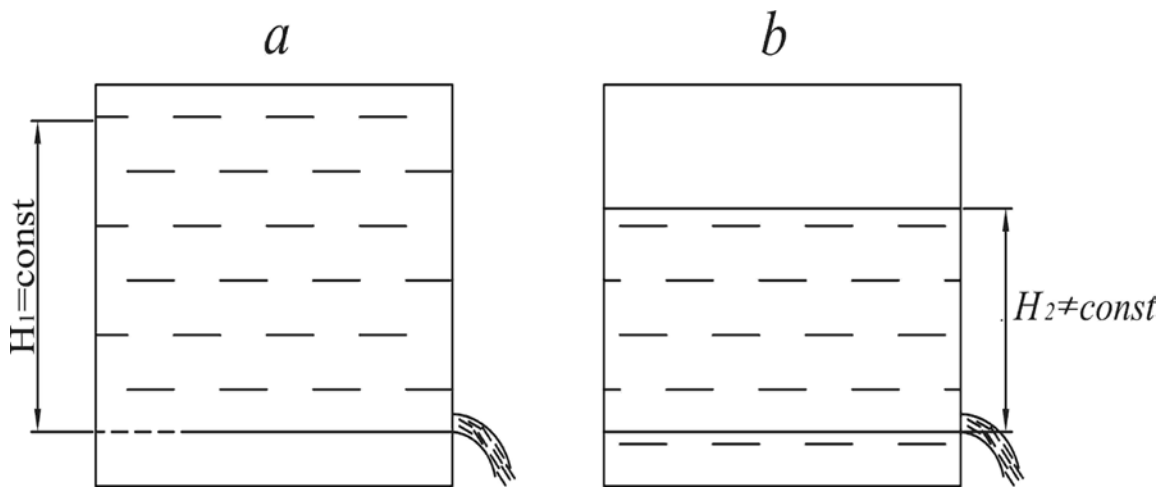
Beləliklə, hesab etmək olar ki, baxılan maye hissəciyinin hərəkəti zamanı sürət və təzyiq fasiləsiz olaraq dəyişiləcəkdir. Bu zaman həmin nöqtə müxtəlif yerli sürət və təzyiqlərə malik olacaqdır. Əgər mayenin hərəkəti zamanı hər bir baxılan nöqtədə sürət və təzyiq zamandan asılı olaraq sabit qalarsa (ancaq bir nöqtədən digərinə

keçdikdə dəyişə bilər) bu cür hərəkət *stasionar* və ya *qərarlaşmış hərəkət* adlanır. Yəni, qərarlaşmış hərəkət zamanı $U = U(x, y, z)$; $P = P(x, y, z)$. Ümumi halda qərarlaşmış hərəkət üçün $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$ yazmaq olar. Lakin bu o demək deyil ki, $\frac{du}{dt} = 0$. Belə ki, sürətin qiyməti zamandan asılı olaraq dəyişmədikdə də onun istiqamətinin dəyişməsi hesabına konvektiv təcil $\frac{du}{dt} \neq 0$ ola bilər.

Qərarlaşmamış və ya qeyri-stasionar hərəkət zamanı təzyiq və sürət fasiləsiz olaraq dəyişəcəkdir. Yəni, mayenin qərarlaşmamış hərəkəti zamanı sürət və təzyiq fəzanın hər bir nöqtəsində həm hərəkət edən maye hissəciyinin koordinantlarından, həm də zamandan asılı olacaqdır. Yəni,

$$U = U(x, y, z, t); P = P(x, y, z, t),$$

Qərarlaşmış hərəkətə misal olaraq çəndən səviyyəsi sabit qalan ($H_1 = const$) mayenin axmasını göstərmək olar (şəkil 1.10., a). Əgər çəndə mayenin səviyyəsi vaxtdan asılı olaraq dəyişəcəkdirsə ($H_2 \neq const$), onda mayenin axması qərarlaşmamış hərəkət olacaqdır (şəkil 1.10., b).



Şəkil 1.10. Mayenin çəndən axması

a-qərarlaşmış; b-qərarlaşmamış

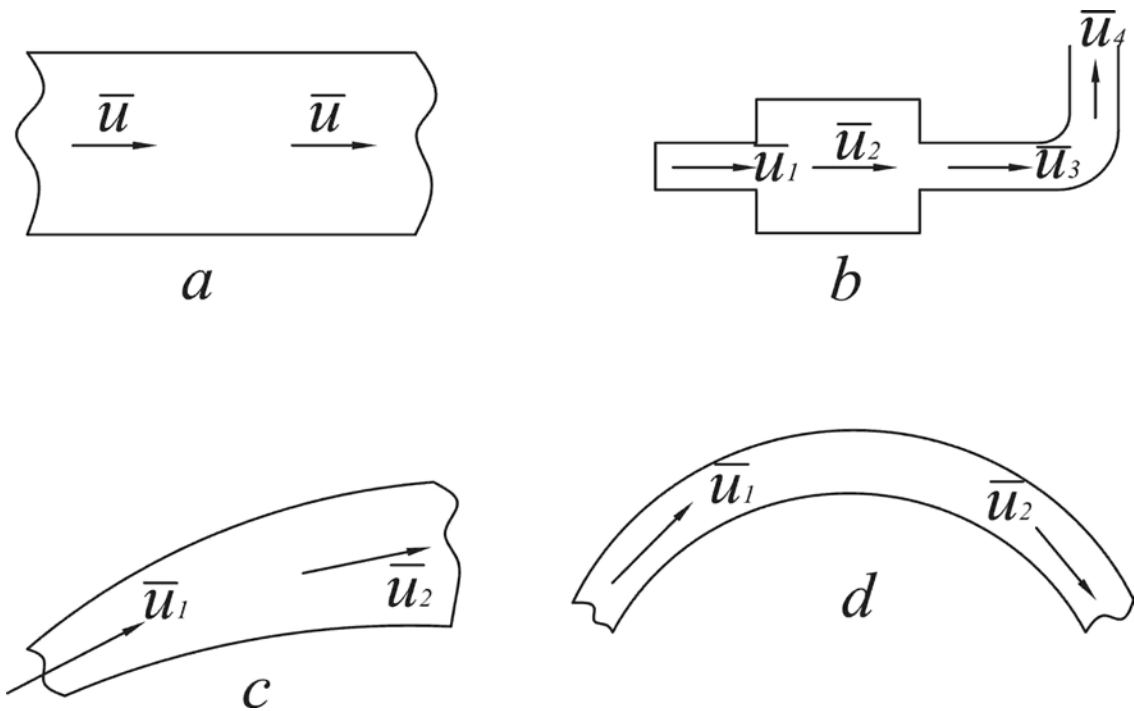
Qərarlaşmış hərəkətə mayenin boru kəmərinə mərkəzdənqaçma nasosları ilə nəqlini də misal göstərmək olar. Belə ki, mərkəzdənqaçma nasosunun işçi çarxı

praktiki olaraq sabit bucaq sürəti ilə fırlandığı üçün mayenin kəməyə verilməsi sabit təzyiq və sürət altında bərabər olaraq həyata keçirilir.

Əksinə, porşenli nasoslardan istifadə zamanı isə porşen dəyişən sürətlə hərəkət etdikdə qərarlaşmamış hərəkət müşahidə olunur, hansı ki, boru kəmərinə təzyiq və sürət zamandan asılı olaraq dəyişilir.

Sürətin dəyişmə xarakterindən asılı olaraq qərarlaşmış hərəkətin aşağıdakı halları mövcuddur:

- Bərabərsürətli qərarlaşmış hərəkət. Bu zaman axın boyunca sürət sabit qalır (şəkil 1.11, a).
- Qeyri-müntəzəm qərarlaşmış hərəkət. Axın boyunca sürət, qiymət və istiqamətini dəyişir (şəkil 1.11, b).
- Axın boyunca sürətin qiyməti az və səlis dəyişir. Bu halda axın bərabərsürətli qəbul edilə bilər (şəkil 1.11, c, d).



Şəkil 1.11. Sürətin dəyişmə xarakterinə görə qərarlaşmış hərəkət növləri

Əgər axın hər tərəfdən bərk divarla tamamilə məhdudlaşarsa, belə hərəkət *basqılı*, qismən məhdud olduqda isə *basqısız axın* adlanır. Mayenin basqılı hərəkəti onunla xarakterizə olunur ki, axının istənilən nöqtəsində

1.11. Axının hidravliki elementləri

Hidrodinamik təzyiq atmosfer təzyiqindən fərqlənməklə ondan çox və ya az ola bilər.

Mayenin nasoslarla nəqli zamanı boru kəmərinə hərəkəti və ya çənlərdən axması basqılı axın hesab edilir.

Boru hidravlikasında basqılı axının *canlı kəsiyi* dedikdə mayenin hərəkət istiqamətinə perpendikulyar olan borunun en kəsiyi başa düşülür və canlı kəsik sahəsi diametri D olan boru üçün $\pi D^2 / 4$ –ə bərabər olur.

Axının canlı kəsiyinin həndəsi perimetrinin axını məhdudlaşdıran divarla təmasda olan hissəsinə *islanma perimetri* deyilir.

Basqılı axınlar üçün canlı kəsiyin həndəsi perimetri islanma perimetrinə bərabərdir.

Canlı kəsik sahəsinin islanma perimetrinə nisbəti *hidravliki radius* (R') adlanır.

Qeyd etmək lazımdır ki, hidravliki radius və həndəsi radius tamamilə başqa-başqa anlayışlardır. Belə ki, mayenin D diametrlili dairəvi boruda basqılı hərəkəti zamanı həndəsi radius $R = \frac{D}{2}$ olduğu halda, hidravliki radius $R' = \pi D^2 / (4\pi D) = D/4$ təşkil edir.

Vahid zamanda canlı kəsikdən keçən mayenin miqdarına *sərf* deyilir. Həcmi ($Q - m^3 / s$), kütlə ($Q_m - kq / s$) və çəki ($Q_G - N / s$) sərfi anlayışlarından istifadə olunur.

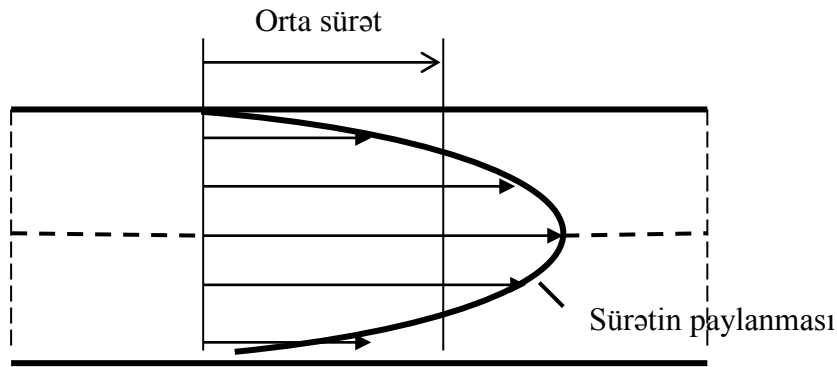
Boru hidravlikasında ən çox həcmi sərf (Q) anlayışından istifadə olunur. Kütlə sərfi $Q_m = \rho \cdot Q$ ifadəsinə əsasən təyin edilir. Çəki, kütlə və həcmi sərf arasında əlaqə aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$Q_G = g \cdot Q_m = \rho g \cdot Q$$

Kütlə sərfindən hərəkətdə olan sistemin sıxlığı dəyişdikdə (məsələn, qazın, qazlı mayenin hərəkəti zamanı) istifadə olunur.

Sərf maye axınının hidravliki elementlərindən biri olmaqla yanaşı, həm də boru kəmərinin əsas texniki-iqtisadi göstəricilərdən hesab olunur. Adətən, hidravliki hesablamalarda sərf məlum göstərici kimi verilir. Sürətin canlı kəsikdə paylanma qanunu isə əksər hallarda məlum olmur. Hesablamaları sadələşdirmək məqsədilə orta sürət anlayışından istifadə olunur. Orta sürət sərf sabit qalmaqla canlı kəsik boyu bütün maye hissəciklərinin eyni sürətlə hərəkət etməsi təsəvvür edilən fiktiv sürətdir.

Dəyişən sürətin epürü sabit orta sürətlə əvəz edilir. (şəkil 1.12) və məlum olan sərfə, canlı kəsik sahəsinə (F) əsasən tapılır ($v = Q / F$).



Şəkil 1.12. Sürətin canlı kəsik boyu dəyişməsi. Orta sürət

Canlı kəsikdə sürətin paylanması məlum olarsa, onda orta sürətə əsasən sərfi aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$Q = v \cdot F, \quad G = \rho v \cdot F$$

1.12. Kəsilməzlik tənliyi

Kəsilməzlik tənliyi mayenin hərəkəti zamanı kütlənin sabitliyi (saxlanması) qanununu ifadə edir. Kəsilməzlik tənliyi mayenin hərəkət tənlikləri ilə birlikdə boru kəmərlərinin hidravliki hesablamalarında geniş istifadə olunur.

Sıxılan mayenin üçölçülü hərəkəti zamanı kəsilməzlik tənliyi vektorial şəkildə aşağıdakı kimi yazılır:

$$\operatorname{div} \rho \vec{u} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

$$\operatorname{div} \rho \vec{u} = \frac{\partial \rho u_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho u_y}{\partial y} + \frac{\partial \rho u_z}{\partial z}$$

Əgər maye sıxılmayırsa $\rho = \text{const}$, yəni $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$, onda kəsilməzlik tənliyi

$$\operatorname{div} \vec{u} = 0$$

Məsələn, sıxılmayan mayenin horizontal boruda x oxu boyunca hərəkəti zamanı kəsilməzlik tənliyi.

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} = 0; U_x = \text{const}$$

Yəni, istənilən kəsikdə mayenin orta sürəti hərəkət boyunca sabit qalır ($v_1 = v_2$).

Başqa sözlə,

$$Q = F \cdot v = \text{const}$$

Beləliklə, canlı kəsik sahəsi dəyişməz qalırsa, orta sürət sabit olduğu üçün bütün canlı kəsiklərdə sərf eyni olacaqdır.

Canlı kəsik sahəsi (F) axın boyunca dəyişdikdə isə,

$$Q = F_1 \cdot v_1 = F_2 v_2 = \text{const}$$

Yəni,

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{F_2}{F_1} = \text{const}$$

Başqa sözlə, sıxılmayan mayələrin boruda hərəkəti zamanı canlı kəsik sahəsinin çoxalmasına mütənasib olaraq sürətin azalmasının və əksinə baş verdiyi üçün axın boyunca sərf dəyişməz qalacaqdır. Bu nəticəyə **sərfin sabitliyi qanunu** da deyilir.

Maye sıxılan, hərəkət isə qərarlaşmış olarsa, onda $\rho = const$, yəni,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

olduğundan $div \rho \vec{u} = 0$ olur.

Başqa sözlə, sıxılan mayenin üfüqi boruda qərarlaşmış hərəkəti zamanı kütlə sürəti, ($\rho \cdot v = const$) və kütlə sərfi ($Q_m = \rho v \cdot F = const$) axın boyunca sabit qalır.

1.13. Axının basqısı və gücü

Basqı (H), hərəkət edən mayenin vahid ağırlıq qüvvəsinin gördüyü işi xarakterizə edir və m -lə ölçülür.

Axının gücü isə vahid zamanda bütün maye kütləsinin gördüyü işdir. Ona görə hər hansı bir canlı kəsikdə axının güc ehtiyatını (N) almaq üçün axının basqısını çəki sərfinə, yəni $\rho g Q$ –yə vurmaq lazımdır.

$$N = H \cdot \rho g Q$$

Axının gücünün vahidi - $N \cdot m/s = C/s = Vt$ (Vatt).

Mayenin boruda hərəkəti zamanı onun mexaniki enerji ehtiyatı, yəni gücü sürtünmə qüvvəsinin gördüyü işi dəf etməyə yönələn enerji sərfinə görə fasiləsiz olaraq azalır. Ona görə də mayeni qaldırmaq və onu hərəkət etdirmək üçün xarici mənbədən (mühərrikdən) ona mexaniki enerjinin verilməsi təmin edilməlidir.

Həmin enerjinin verilməsi nasos qurğularının köməyi ilə həyata keçirilir. Bu zaman nasosla mayeyə verilən basqı ***nasosun basqısı*** adlanır.

1.14. Real mayələr üçün Bernuli tənliyi

Bernuli tənliyi hidravlikanın əsas tənliklərindən biridir. Boru kəmərlərinin, hidravlik maşınların, sərfölçənlərin, sürət borularının və s. iş prinsiplərinin, hidravliki hesablamalarının əsasını Bernuli tənliyi təşkil edir.

Sıxılmayan real mayelərin izotermik axını üçün Bernuli tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{v_1^2}{2g}\right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha \frac{v_2^2}{2g}\right) = h_{\text{sup}} + h_{y.m.}$$

Burada α -axının en kəsik sahəsində sürətin qeyri-müntəzəm paylanması nəzərə alın və kinetik enerji və ya **Koriolis əmsali** adlanır. Bu əmsal canlı kəsik sahəsində həqiqi kinetik enerjinin orta sürətə görə hesablanmış kinetik enerjiyə olan nisbətidir. Borularda turbulent axınlar üçün bu əmsal $\alpha = 1,05 - 1,10$ təşkil etdiyi üçün əksər hallarda $\alpha \approx 1$ qəbul edilir, v_1 və v_2 isə uyğun olaraq başlanğıc və son canlı kəsiklərdə orta sürətdir.

Real mayelərin hərəkəti onların malik olduğu özlülüyn təsirindən hərəkətə mane olan sürtünmə qüvvəsi ilə xarakterizə olunur. Bu zaman yaranan sürtünmə qüvvəsinin gördüyü iş nəticəsində mexaniki enerjinin bir hissəsi istilik şəklində yayılır (bu enerjinin dissipasiyası da adlanır). Digər tərəfdən tədqiqatlar göstərir ki, üfüqi boruda basqılı hərəkət zamanı yaranan sürtünmə qüvvəsi hesabına mayenin enerjisinin eninə diffuziyası axının mərkəzi hissəsindən borunun divarına doğru baş verir. Nəticədə, borunun mərkəzi hissəsində maye axınının xüsusi enerjisi axın boyunca azalır, divara yaxın hissələrdə isə artır.

Tənliyə daxil olan z_1 və z_2 - uyğun olaraq 1 və 2 canlı kəsikləri üçün (bu kəsiklər kəmərin başlanğıc və son nöqtəsinə də aid ola bilər) hündəsi hidravlik və ya hündəsi basqıdır. $P_1 / \rho g$ və $P_2 / \rho g$ - pyezometrik hündürlük və ya pyezometrik basqıdır. $v_1^2 / 2g$ və $v_2^2 / 2g$ - kəsiklərdə olan sürətlərin qiymətinə uyğun sürət hündürlüyü və ya sürət basqısıdır.

Hündəsi, pyezometrik və sürət basqılarının cəmi **tam** və ya **hidrodinamiki basqı** adlanır və müvafiq kəsikdə vahid maye kütləsinin tam mexaniki enerji ehtiyatını müəyyən edir. Bu basqılar boru kəmərinə sürtünmə qüvvəsini (h_{cup}) və yerli müqavimətləri ($h_{y.m.}$) dəf etmək üçün sərf olunur:

$$z_1 + P_1 / (\rho g) + v_1^2 / (2g) = H_1 ; \quad z_2 + P_2 / (\rho g) + v_2^2 / (2g) = H_2$$

uyğun olaraq axının başlanğıcında (H_1) və sonunda (H_2) tam basqının ifadələridir ($\alpha=1$).

Bernuli tənliyinə görə horizontal boru kəmərinə basqılar fərqi (H_1-H_2) sürtünmə qüvvəsi və yerli müqavimətin dəf edilməsinə sərf olunur.

$h = h_{\text{cup}} + h_{y.m}$ -cəm basqı itkisi adlanır. Beləliklə axın boyunca cəm basqı itkisi fasiləsiz artır, tam basqı isə azalır.

H_1 və H_2 -nin ifadələrindən görüldüyü kimi z ; $P /(\rho g)$ və $v^2 / (2g)$ hədlərinin hər üçü uzunluq vahidi, yəni m -lə ölçülür. Buna baxmayaraq, onların energetik (fiziki) mənaları müxtəlifdir.

Belə ki, z -maye hissəciklərinin vəziyyətinə uyğun xüsusi potensial enerji; $\frac{P}{\rho g}$ - təzyiqin xüsusi potensial enerjisi; $v^2 / 2g$ -maye hissəciklərinin xüsusi kinetik enerjisidir.

Hidravlikada ənənəvi olaraq basqı anlayışından istifadə olunduğu üçün tam basqını aşağıdakı kimi də yazmaq olar:

$$H = H_p + K_k$$

bu $H_p = Z + p / \rho g$ -potensial enerji ehtiyatını xarakterizə edən potensial basqı;

$$H_k = \frac{v^2}{2g} - \text{mayenin vahid ağırlıq qüvvəsinə düşən kinetik enerjini xarakterizə}$$

edən sürət basqısıdır.

1.15. Hidravliki müqavimət. Mayenin hərəkət rejimləri

Mayelərin boruda hərəkətinə göstərilən hidravliki müqavimət iki müqavimətin: ***axın boyu sürtünmə müqaviməti*** və ***yerli müqavimətin cəmindən*** ibarət olur. Axın boyu müqavimət əsasən mayenin borunun daxili səthi ilə toxunması və maye təbəqələrinin daxili ilişməsi (özlülük) hesabına yaranan sürtünmə qüvvələrinin təsirindən baş verir. ***Yerli müqavimət*** isə axının istiqaməti ilə konfigurasiyasının

kəskin dəyişməsi (birdən genişlənmə, daralma, klapandan, siyirtmələrdən keçmə, dönmələr olduqda və s.) zamanı yaranır.

Bernuli tənliyində göstərildiyi kimi, tam basqı və ya təzyiq həmin hidravliki müqavimət itkilərinin dəf edilməsinə sərf olunur.

Mayenin hərəkəti zamanı baş verən hidravliki müqavimətlər hər şeydən əvvəl onun axma xüsusiyyətindən (rejimindən) asılıdır. Hərəkət rejimlərini 1883-cü ildə ilk dəfə öyrənən məşhur fizik O. Reynolds olmuşdur.

Sürətin kiçik qiymətlərində boruda mayenin bir-birinə qarışmayan, təbəqəli hərəkətinə *laminar* (nizamlı), nisbətən böyük sürətlərdə mayenin burulğanlı, nizamsız hərəkəti isə *turbulent* hərəkət adlanır.

1.15.1. Reynolds ədədi

Dairəvi boruda apardığı tədqiqat işlərinin nəticələrini ümumiləşdirərək, O. Reynolds bu və ya digər hərəkət rejiminin mövcud olduğu bir rejimdən digərinə keçid şərtini müəyyən etmiş və ölçüsüz kəmiyyət (və ya meyar) təklif etmişdir (bu kəmiyyət sonralar onun şərəfinə *Reynolds ədədi* adlandırılmışdır).

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

Hal-hazırda aparılan hesablamalarda Reynoldsun böhran qiymətindən ($Re_{\text{границы}} = 2300$) istifadə olunur. Əgər $Re < 2300$ olarsa, hərəkət rejimi laminar, $Re > 2300$ olduqda isə hərəkətin turbulent rejimdə baş verdiyi qəbul olunur.

Qeyd etmək lazımdır ki, Reynolds ədədi boru hidravlikasında əsas hidrodinamik oxşarlıq meyarı hesab edilir və boruda mayenin hərəkəti zamanı ətalət və sürtünmə qüvvələrinin nisbətini $\left(\frac{\rho}{\mu}\right)$ xarakterizə edir.

1.16. Hidrodinamiki oxşarlıq və maye axınlarının modelləşdirilməsi

Müxtəlif hidravliki məsələlərin öyrənilməsi zamanı bilavasitə, real obyektlərdə təcrübə-sınaq işlərinin aparılması çox baha başa gəlir, bəzən isə təcrübə cəhətdən bu mümkün olmur. Odur ki, laboratoriya şəraitində sahələrin modelində təcrübə üsulu ilə aparılan tədqiqat işlərinə geniş yol verilir.

Bir qayda olaraq, modellər real sahələrin və axınların kiçik karikaturası olduğu üçün modelləşdirmə elə aparılmalıdır ki, alınan nəticələri sahəyə aid etmək mümkün olsun. Başqa sözlə modellər əsasında alınmış nəticələri ümumiləşdirmək və naturaya keçirmək üçün model və naturada həndəsi ölçülərin, axınların kinematik və dinamik xarakteristikaları arasındakı müəyyən nisbətləri təyin edən qanunlar-oxşarlıq qanunları adlanmaqla oxşarlıq nəzəriyyəsinə əsasən öyrənilir.

Nəzərə almaq lazımdır ki, fiziki oxşarlıq həndəsi oxşarlığın ümumiləşdirilməsi deməkdir.

Həndəsi oxşarlıq şərtinə görə natura və modeldə uyğun həndəsi ölçülər mütənasib olmalıdır. Yəni, baxılan axınların istənilən müvafiq xətti ölçülərinin nisbətinin eyni olması zəruridir. Belə ki, məsələn, əgər 1-ci axının uzunluğu L_1 , ikincininki isə L_2 olarsa, onda $L_1/L_2 = K_L$ - xətti miqyas əmsalı, digər istənilən xətti ölçülər üçün də eyni olmalıdır. Aydındır ki, bu halda sahələr üçün $F_1 = K_L^2 \cdot F_2$, həcmələr üçün isə $V_1 = K_L^3 \cdot V_2$ düsturları mövcud olacaqdır.

Natura və modeldə iki maye axınının fiziki oxşarlığı üçün həndəsi oxşarlıqla yanaşı eyni zamanda kinematik və dinamik oxşarlıq şərtləri də ödənilməlidir.

Axınların kinematik oxşarlığına riayət olunması üçün hər iki halda (model və naturada) maye hissəciklərinin trayektoriyaları həndəsi olaraq oxşar olmalıdır. Əgər 1-ci axında t_1 anında L_1 , 2-ci axında t_2 anında L_2 trayektoriya hissəsini keçirsə, onda L_2 parçası L_1 -ə həndəsi oxşar, t_1/t_2 nisbəti isə sabit olmalıdır. $t_1/t_2 = K_t$ vaxt miqyasını təşkil etdiyini $v_1 = L_1/t_1$; $v_2 = L_2/t_2$ olduğunu və həndəsi oxşarlığı nəzərə alaraq sürət miqyasını (K_v) $K_v = K_L / K_t$ şəklində yazmaq olar.

Təcilin vahid zamanda sürət artımını xarakterizə etdiyini nəzərə alsaq, təcil miqyası üçün $K_a = K_L / K_t^2$ yazmaq olar.

Beləliklə, kinematik oxşar sistemlər üçün müvafiq nöqtələrin sürət və təcili öz aralarında aşağıdakı asılılıqlarla əlaqəli olacaqdır:

$$v_1 = K_v \cdot v_2 \quad \text{və} \quad a_1 = K_a \cdot a_2$$

Tutuşdurulan axınların dinamik oxşarlıq şərtinin ödənilməsi üçün onların müvafiq nöqtələrində təsir edən eyni adlı qüvvələr (mayenin daxili sürtünmə, ağırlıq, səthi gərilmə və s. qüvvələri) oxşar olmalıdır.

Tutaq ki, həndəsi və kinematik oxşarlıq şərtləri ödənilən iki axın mövcuddur. Bu axınların müvafiq nöqtələrində təsir edən qüvvələri F_1 və F_2 ilə işarə edək. Dinamikanın əsas tənliyi Nyuton qanununa görə $F = m a$, harada ki, $m = \rho \cdot L^3$, $a = L/t^2$ (ρ və L^3 - uyğun olaraq mayenin sıxlığı və həcmidir). Onda

$$F = \rho L^3 \cdot \frac{L}{t^2} = \rho \frac{L^4}{t^2} = \rho v^2 L^2$$

Beləliklə, dinamiki oxşarlıq üçün gərək qüvvələr aşağıdakı nisbətdə olsunlar:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\rho_1 v_1^2 L_1^2}{\rho_2 v_2^2 L_2^2} = K_F$$

K_F – qüvvə miqyasıdır.

Sonuncu ifadə ilk dəfə Nyuton tərəfindən formalaşdırılan dinamiki oxşarlığın ümumi qanununun riyazi ifadəsidir.

Dinamiki oxşarlıq şərtləri 2 üsul ilə alınır:

- Mayenin hərəkətini müəyyənləşdirən tənliklərin ölçüsüz şəkllə salınması;
- Maye axınını (hərəkətini) müəyyənləşdirən kəmiyyətlərin daxil olduğu funksional asılılığın ölçülər nəzəriyyəsinə əsasən təhlili.

Tutaq ki, mayenin horizontal boru kəmərinə hərəkəti zamanı bütün təsir edən qüvvələrdən əsas təsir göstərən mayenin daxili sürtünmə qüvvələridir. Daxili sürtünmə qanununa uyğun olaraq bu qüvvələri $F = \mu \cdot L^2 (v/L) = \mu \cdot v \cdot L$ şəklində yazmaq olar.

Onda dinamik oxşarlığın tənliyi

$$\frac{\rho_1 \cdot v_1^2 \cdot L_1^2}{\rho_2 \cdot v_2^2 \cdot L_2^2} = \frac{\mu_1 \cdot v_1 \cdot L_1}{\mu_2 \cdot v_2 \cdot L_2}$$

Buradan

$$\frac{\rho_1 \cdot v_1 \cdot L_1}{\rho_2 \cdot v_2 \cdot L_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

və

$$\frac{\rho_1 \cdot v_1 \cdot L_1}{\mu_1} = \frac{\rho_2 \cdot v_2 \cdot L_2}{\mu_2}$$

Nəzərə alsaq ki, $\mu / \rho = \nu$ -kinematik özlülükdür, son olaraq alarıq

$$\frac{v_1 \cdot L_1}{\nu_1} = \frac{v_2 \cdot L_2}{\nu_2}$$

Sonuncu ifadə mayenin daxili sürtünmə qüvvələri təsir göstərdikdə dinamik oxşarlıq şərtini müəyyən edir.

Beləliklə, baxılan halda mayenin iki axını üçün $\frac{v \cdot L}{\nu}$ kəmiyyəti eyni qiymətə malikdirsə, onda bu axınlar öz aralarında dinamik oxşar olacaqdır.

Yəni, bu axınlarda eyni hərəkət rejimlərində eyni cür mexaniki proseslər baş verəcəkdir. Boru hidravlikasında bu oxşarlıq qanunu O. Reynolds tərəfindən müəyyən edilmişdir. Həqiqətən, ν -ni boruda mayenin orta sürətini müəyyən etdiyini və xarakterik xətti ölçünün isə borunun diametri (d) olduğunun qəbul etsək, onda $v \cdot d / \nu$ ifadəsini alarıq ki, bu da Reynolds ədədini (Re) göstərir. Bu isə Reynolds ədədinin boru hidravlikasında dinamik oxşarlığın meyarı olması deməkdir.

Boru hidravlikası üçün xarakterik ola bilən digər bir hala baxaq:

Tutaq ki, özlülüynün təsiri çox azdır. Mayenin hərəkəti əsasən ağırlıq qüvvələrinin təsiri hesabına baş verir. Yəni, bu zaman dinamik oxşarlığın əsas tənliyində F qüvvəsinin yerinə ağırlıq qüvvəsinin qiymətini ($G = m \cdot g = \rho \cdot L^3 \cdot g$) qoymaq lazımdır.

Onda yazmaq olar:

$$\frac{\rho_1 \cdot v_1^2 \cdot L_1^2}{\rho_2 \cdot v_2^2 \cdot L_2^2} = \frac{\rho_1 \cdot L_1^3 \cdot g_1}{\rho_2 \cdot L_2^3 \cdot g_2}$$

və ya

$$\frac{v_1^2}{g_1 \cdot L_1} = \frac{v_2^2}{g_2 \cdot L_2}$$

Beləliklə, alınan ifadə **Frudun qanunu** adlanır və bu zaman ölçüsüz Frud ədədi (meyarı) $Fr = v^2 / (gL)$.

Frudun oxşarlıq qanunu o axınların modelləşdirilməsində o vaxt istifadə olunur ki, bütün qüvvələrdən əsas təsir edəni yalnız ağırlıq qüvvələri olsun (məsələn, bir çox dəniz hidrotexniki qurğularının modelləşdirilməsi, dalğa müqavimətinin öyrənilməsi zamanı və s.).

Əgər maye axını zamanı əsas təsir edici qüvvə səthi gərilmə qüvvəsi olarsa (məsələn, kapilyardan mayenin axması zamanı), onda dinamik oxşarlıq tənliyində həmin qüvvəni $F = (\sigma / L)L^2 = \sigma \cdot L$ (σ – səthi gərilmə əmsalındır) yazmaq alırıq:

$$\frac{\rho_1 \cdot v_1^2 \cdot L_1^2}{\rho_2 \cdot v_2^2 \cdot L_2^2} = \frac{\sigma_1 \cdot L_1}{\sigma_2 \cdot L_2}$$

və ya

$$\frac{\rho_1 \cdot v_1^2 \cdot L_1}{\sigma_1} = \frac{\rho_2 \cdot v_2^2 \cdot L_2}{\sigma_2}$$

Bu zaman alınan ifadə **Veberin oxşarlıq qanunu**, ölçüsüz kəmiyyət $(\rho v^2 L) / \sigma = W_c$ - Veber ədədi (meyarı) olacaqdır.

Nəzərə almaq lazımdır ki, əksər hallarda bütün oxşarlıq qanunlarının eyni vaxtda yerinə yetirilməsi təcrübi olaraq qeyri-mümkündür. Ona görə də hidravliki modelləşdirmə zamanı adətən həlledici rola malik olan qanunu nəzərə almaq kifayət edir. Boru hidravlikası üçün əsas oxşarlıq meyarı, qeyd olunduğu kimi Reynolds ədədi hesab edilir.

1.16.1. Ölçülər nəzəriyyəsinə əsasən təzyiq itkisinin axın parametrlərindən asılılığının tədqiqi

Ölçülər nəzəriyyəsi və onun əsasını təşkil edən π -teoreminə əsaslanaraq nəinki hidrodinamiki oxşarlıq şərtlərini, həmçinin fiziki kəmiyyətlər arasında olan rəasional kombinasiyaları müəyyən etmək mümkündür. Ölçülər nəzəriyyəsinə görə prosesi xarakterizə edən kəmiyyətlərin sayını əsas ölçülü kəmiyyətlərin (kütlə- M , uzunluq- L və zaman- T) sayı qədər azaltmaq olar.

Asılı ölçülü kəmiyyətlərin ölçü vahidləri isə bu kəmiyyətləri əsas ölçülü kəmiyyətlərlə əlaqələndirən riyazi ifadələrlə müəyyən edilir.

Boru hidravlikasında asılı olmayan ölçülü kəmiyyətlər kimi adətən, xarakterik uzunluq (d), sürət (v) və sıxlıq (ρ) seçilir və bunlar hər bir ölçüsüz kəmiyyət kombinasiyasına daxil olur (məsələn, Reynolds ədədinə).

Boru hidravlikasında rast gələn və maye axınının hərəkətini müəyyənləşdirən əsas kəmiyyətlərin ölçü vahidlərini göstərək:

- **Qüvvə:** $[F] = [ma] = M \frac{L}{T^2} = MLT^{-2};$

- **Sıxlıq:** $[\rho] = \left[\frac{m}{V} \right] = \frac{M}{L^3} = ML^{-3};$

- **Təzyiq qradienti:** $\left[\frac{\Delta P}{\ell} \right] = \left[\frac{F/S}{\ell} \right] = \frac{MLT^{-2}}{L \cdot L^2} = ML^{-2}T^{-2};$

- **Özlülük:** $[\mu] = \left[\frac{\tau}{du/dr} \right] = \left[\frac{F}{S} \cdot \frac{dr}{du} \right] = \frac{MLT^{-2} \cdot L}{L^2 \cdot T^{-1} \cdot L} = ML^{-1}T^{-1};$

- **Kütlə sürəti:** $[\rho v] = ML^{-3} \frac{L}{T} = ML^{-2}T^{-1};$

- **Xüsusi çəki:** $[\rho g] = ML^{-3} \frac{L}{T^2} = ML^{-2} \cdot T^{-2}$

Hidrodinamikada sürtünmə (μ), təzyiq $\left(\frac{\Delta P}{\ell}\right)$ və ətalət qüvvələrinin (ρ) müqayisəsini xarakterizə edən ölçüsüz kəmiyyətlərdən istifadə olunur. Məsələn, ətalət və sürtünmə qüvvələrinin müqayisəsini ρ/μ göstərən Reynolds ədədinin aşağıdakı ölçüsüz kəmiyyətlərlə qiymətləndirilməsinə baxaq:

$$\frac{\rho}{\mu} v^x \cdot d^y = M^0 \cdot L^0 \cdot T^0$$

$$\frac{ML^{-3}}{ML^{-1} \cdot T^{-1}} \cdot L^x \cdot T^{-x} \cdot L^y = M^0 L^0 T^0$$

Buradan $x=1$, $y=1$ alındığı üçün qeyd olunan qüvvələrin müqayisəsi (nisbəti) üçün $\rho v d / \mu = Re$ ölçüsüz Reynolds ədədi alınır.

İndi ölçülər nəzəriyyəsinə əsasən sıxılmayan mayenin silindirik hamar boruda qərarlaşmış hərəkəti zamanı axın parametrlərindən asılı olaraq təzyiq itkisinin tapılmasına baxaq. Məsələn, d diametrlili, ℓ uzunluğuna malik boru kəməri hissəsində təzyiqin düşməsi ΔP asılılığının strukturunu müəyyən etməkdən ibarətdir. Beləliklə, fiziki mülahizələrə əsaslanaraq təzyiqlər fərqi üçün ümumi halda, yuxarıda qoyulan şərtləri nəzərə alaraq yazmaq olar.

$$\Delta P = \Delta P(\ell, d, v, \rho, \mu)$$

π -teoreminə əsasən göstərilən 6 kəmiyyətdən 3 aşağıdakı ölçüsüz π -kəmiyyətlərini quraşdırmaq olar.

$$\frac{\Delta P}{\rho v^2}; \quad \frac{\ell}{d}; \quad \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

Beləliklə, $\frac{\Delta P}{\rho v^2}$ kəmiyyəti bir funksiya kimi iki ölçüsüz arqumentdən asılı olacaqdır:

$$\Delta P / (\rho v^2) = f\left(\frac{\ell}{d}, \frac{v d \rho}{\mu}\right)$$

Boru xətti boyunca sərhəd şərtləri dəyişmədiyi üçün ($d = const$, hamar səth), ΔP – nin ℓ – dən asılılığını xətti qəbul etsək, alarıq:

$$\frac{\Delta P}{\rho v^2} = \frac{\ell}{d} f_*(\text{Re})$$

$2f_*(\text{Re}) = \lambda$ işarələməsi qəbul etsək,

$$\Delta P = \lambda \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

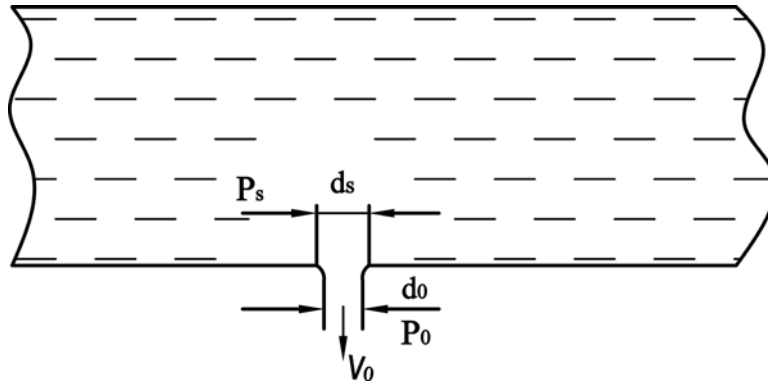
Sonuncu ifadə hamar boruların əsas hesablanması düsturu qəbul olunmaqla təcrübdə yoxlanılmış **Darsi-Veysbax** düsturu adlanır.

1.16.2. Ölçülər nəzəriyyəsinə əsasən boru kəməmindən neft sızmasınının təyini

Tutaq ki, neft kəməmində hər hansı bir səbəbdən, məsələn korroziyadan diametri d_s olan deşik əmələ gəlib və həmin deşikdən neft ətraf mühitə axır. Sızma yerində borudaxili təzyiqi P_s , boruxaricindəki təzyiqi P_0 qəbul edək. Baxılan hal üçün ağırlıq qüvvəsi nəzərə alınmır. Deşikdən neftin axması zamanı axının daralması baş verdiyi üçün şırnağın diametrini d_0 qəbul edək ($d_0 < d_s$), (şəkil 1.13).

Beləliklə, mülahizələrə əsasən baxılan məsələ üçün təyinedici kəmiyyətlər d_s , v , ρ , ΔP , μ olacaqdır. Ölçülər nəzəriyyəsinə görə göstərilən bu kəmiyyətlərin sayı $n = 5$ olduğu üçün, $n - 3$ sayda, yəni 2 ölçüsüz kəmiyyət düzəltmək olar.

Bu kəmiyyətlər $\Delta P / (\rho v^2)$ və $v d_s \rho / \mu$ olduğu üçün aşağıdakı asılılığı yazmaq olar ($\Delta P = P_s - P_0$):



Şəkil 1.13. Neftin təzyiqlik altında boru kəmərinəki dəşikdən axması

$$2\Delta P / (\rho v^2) = f(\text{Re})$$

Sonuncu ifadədən neftin axma sürəti

$$v = \frac{1}{\sqrt{f(\text{Re})}} \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}}$$

olacaqdır.

Əgər v axının orta sürəti olarsa, onda onu sıxılan axına, yəni diametri d_0 olan canlı kəşiyə aid etmək lazımdır. Onda axan neftin sərfi üçün alarıq:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{f(\text{Re})}} \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}}$$

Axının sıxılma əmsalını $\varepsilon \left(\varepsilon = \frac{d_0}{d_s} \right)$, $f(\text{Re}) = \xi$ ilə işarə etsək alarıq:

$$Q = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\xi}} \frac{\pi d_s^2}{4} \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}}$$

Hidravlikada $\frac{1}{\sqrt{\xi}} = \varphi$ – sürət əmsalı, $\varepsilon\varphi = k_s$ – sərf əmsalı adlandırıldığına nəzərə

alsaq, kəmərdən sızan neftin sərfini hesablamaq üçün aşağıdakı düsturu alarıq:

$$Q = k_s \frac{\pi d_s^2}{4} \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}}$$

1.17. Kavitasialı axınlar

Hidrodinamikada qaynama hadisəsinin bir halı hesab edilən kavitasiya xüsusi maraq doğurur. Kavitasiya hadisəsi hərəkət edən mayedə yerli təzyiqlik buxar elastikliyi təzyiqlikə qədər düşməsi zamanı baş verir. Kavitasiya ayrı-ayrı qabarcıqlar, həm də maye buxarları ilə dolan bütöv bir «boşluq» şəklində meydana çıxma bilər.

Bu zaman maye, məsələn, su hansı dərəcədə soyuq olmasından asılı olmayaraq qaynayacaq və proses zamanı xeyli miqdarda qaz qabarcıqları əmələ gələcəkdir.

Kavitasiya bir qayda olaraq axının kəsilməzliyi pozulması ilə əlaqədar mayenin hərəkət qanunauyğunluqlarının dəyişməsi və qabarcıqların partlaması zamanı borunun bərk divarının materialının dağılması ilə müşahidə olunur. Bir çox hidrodinamik maşın və qurğular, məsələn, sərfölçən cihazlar zərərli kavitasiya hadisəsinin baş verməsi nəticəsində sıradan çıxır və yararlı olmur. Təsadüfi deyil ki, hidravlik turbinlərin nasos və s. qurğuların pərlərinin kavitasiyadan dağılmalarının səbəbi və mexanizmlərinin tədqiqi əsas və vacib olan texniki problemlərdən hesab edilir.

Tədqiqatlar göstərir ki, təzyiqin düşməsi, sürətin artması zamanı hərəkət edən mayenin özünü necə göstərməsi, onda həll olan qazın miqdarından, bərk hissəcik və qarışıqların olmasından, həmçinin boru divarının vəziyyətindən çox asılıdır. Ümumiyyətlə, kavitasiyanın baş vermə formaları və inkişafı çox müxtəlifdir. Kavitasiyanın iki əsas - başlanğıc və inkişaf etmiş mərhələləri qeyd edilir. Başlanğıc mərhələ qabarcıqların yaranması və böyüməsi ilə xarakterizə olunduğu üçün çox vaxt qabarcıqlı kavitasiya adlanır. Məlumdur ki, normal şəraitdə mayelərdə həmişə diametrləri təqribən 10^{-6} mm olan çox kiçik qaz qabarcıqları olur. Əgər mayenin hərəkəti zamanı onlar aşağı təzyiqli zonalara düşürsə, onda onların ölçüləri böyüyür və sonradan yüksək təzyiq zonasına düşən həmin qabarcıqlar sıxılır və partlayır. Əgər qabarcıqlar intensiv olaraq çoxalmışsa, onda onlar bir-biri ilə birləşərək müxtəlif formalı kavernalar (boşluqlar) da əmələ gətirə bilər. Buxar və ayrılan qazlarla dolmuş bu cür kavernaların əmələ gəlməsi inkişaf etmiş kavitasiya hadisəsi üçün çox xarakterikdir.

Kavitasiya hadisəsini şəffaf Venturi borusunda (kavitasiya borusu da adlanır) əyani müşahidə etmək mümkündür.

Kavitasiya hadisələrinin əsas kəmiyyəti və oxşarlıq meyarı *kavitasiya ədədi* (\geq) hesab edilir.

$$\sigma = (P_{\infty} - P_k) / (0,5 \rho u_{\infty}^2)$$

harada ki, P_∞ və u_∞ - sonsuzluqda axının təzyiqi və sürəti; P_k – kavernadaki təzyiqdir

Kavitasiya ədədi həm də $P_\infty - P_k$ təzyiqlər fərqiə görə tərtib olunmuş Eyler ədədidir və onun kavitasianın başlanmasını göstərən qiyməti **böhran qiyməti** ($\alpha_{böh}$) adlanır. Qaz qabarcıqlarının artımı müəyyən olunmuş $P_{\text{ööl}}$ təzyiqində başladığı üçün $\alpha_{böh}$ -nin qiymətinə məhz həmin təzyiq uyğun gəlməlidir. Hesab etmək olar ki, $P_{\text{ööl}}$ elə doymuş buxar təzyiqinə P_d bərabərdir ($P_{\text{ööl}} = P_d$). Bu təzyiq sürətin maksimal qiymətinə (u_m) uyğun gələn nöqtədə yaranır. Həmin sürətin sonsuzluqda kavitasianın baş verməsinə uyğun qiymətini (u_{∞}) tapmaq üçün $u = u_m$, $P = P_{\text{min}} = P_d$ olan nöqtədə təzyiq əmsalı üçün məlum olan aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\bar{P}_{\text{min}} = \frac{P_d - P_\infty}{\rho U_\infty^2 / 2}$$

buradan

$$U_{\infty} = \sqrt{\frac{2(P_d - P_\infty)}{\rho \bar{P}_{\text{min}}}}$$

Nəzərə alsaq ki, baxılan nöqtədə $\bar{P}_{\text{min}} < 0$, onda belə nəticəyə gəlmək olar ki, P_∞ -nin qiyməti çoxaldıqca U_{∞} -nin qiyməti artacaqdır. Ona görə də sürətin verilən U_{∞} qiymətində P_∞ təzyiqini artırmaqla kavitasianın qarşısını almaq mümkündür.

Əgər P_∞ təzyiqi sərbəst səthdə batırılmaqla yaradılırsa, yəni $P_\infty = P_0 + \rho gh$ (harada ki, h – batırılma dərinliyi, P_0 – sərbəst səthə düşən təzyiqdir), onda h – 1 çoxaltmaqla kavitasianın qarşısını almaq olar.

Kavitasianın böhran ədədi ($\alpha_{böh}$) kavitasianı xarakterizə edən əsas meyardır. Sürətin verilmiş qiymətində mayenin məlum xassələrində kavitasiya ədədinin kiçik olması yerli müqavimətin girişində təzyiqin doymuş buxarın təzyiqinə yaxınlaşdığını göstərir. Belə kommunikasiyalar mütləq təzyiqin kiçik qiymətlərində kavitasiasız işləyə bilir ki, bu da çox vacib məsələdir (məsələn nasosların sorma boruları üçün).

Odur ki, müxtəlif hidravliki sistemlərin və maşınların konstruksiyalarının layihələndirilməsi zamanı kavitasiya ədədinin azaldılması çox əhəmiyyətlidir.

Neft və neft məhsullarının boru kəmərləri ilə nəql olunmasında kavitasiya hadisəsinin xüsusiyyətlərini nəzərə almaq zəruridir. Neftin və başqa mayələrin kavitasiya göstəricisi olan doymuş buxar təzyiqi təkcə temperaturdan deyil, həm də neftin tərkibi, qaz və maye fazalarının nisbətindən asılıdır. Axan mayenin özlüklüyünün kavitasiya hadisəsinə təsiri böyükdür. O, bir tərəfdən yerli müqavimətin girişində hidravliki itkilər artdığı üçün təzyiqi azaldır, digər tərəfdən isə əböh-nı artırır.

Kavitasiya dözülməz və təhlükəli hidravliki hadisədir. O, təkcə borunun daralan yerində deyil, başqa yerlərində, cisim ətrafında da axma profilinin dəyişməsi nəticəsində yerli sürətin artıb, yerli təzyiqin azalmasını təmin edən bütün hallarda baş verir.

Ümumiyyətlə, kavitasiya boruda mayenin, mayədə cismin hərəkət sürətinin artırılmasına qarşı sərt bir maneə hesab edilir.

Kavitasiya hadisəsi metalları «yeməklə» hidravliki maşın və qurğuların fəaliyyətini xeyli məhdudlaşdırır, bəzi hallarda isə onları sıradan çıxarır.

Kavitasiyanın qarşısını almaq, məhdudlaşdırmaq məqsədilə yüksək təmizlik dərəcəsi tələb olunan maşın hissələrindən, kavitasiyalı təmizləmə qurğu və texnologiyalarından istifadə olunur. Neft-mədən praktikasında boruların daxili səthinin laklarla və s. ilə işlənməsi nəticəsində səthin hamarlıq dərəcəsi xeyli artır və onun üzərinə hissəciklərin yapışma, çökmə ehtimalı və şəraiti xeyli azalır. Tədqiqatlar göstərir ki, boruların daxili səthinə kavitasiya qurğusu ilə təmizlədikdə səth güzgü kimi hamar olur. Bu isə öz növbəsində boruda mayenin hərəkəti zamanı hidravliki müqaviməti əhəmiyyətli şəkildə azaldır.

Yoxlama sualları

1. *Mayelərin təsnifatı necə aparılır? Homogen və heterogen mayələr nə ilə fərqlənir?*
2. *Mayelərin reologiyası, reofiziki xüsusiyyətləri nəyi nəzərdə tutur?*
3. *Neftlər niyə müxtəlif olur və onların tərkibi necədir?*
4. *Mayenin sıxlığı ilə xüsusi çəkisi arasında nə kimi asılılıq var?*
5. *Mayelərin sıxılması və genişlənməsi hansı amillərin hesabına baş verir?*
6. *Təbii qazların neftdə həll olması nə ilə xarakterizə olunur?*
7. *Henri qanunu nəyi ifadə edir?*
8. *Doyma təzyiqi nədir və ona hansı amillər təsir edir?*
9. *Doymuş buxar elastikliyi və kavitasiya haqqında nə bilirsiniz?*
10. *Mayelərin özlülüyü nəyi xarakterizə edir?*
11. *Mayələr reoloji xüsusiyyətlərinə görə necə təsnif olunur?*
12. *Effektiv özlülük, özlü-elastik, özlü-plastik, dilatant mayələr haqqında nə bilirsiniz?*
13. *Özlülük necə təyin olunur? Kross üsulunun mahiyyəti nədən ibarətdir?*
14. *Hidrostatik təzyiq necə yaranır?*
15. *Hidrostatik paradoks nədir?*
16. *Sualtı boru kəmərlərinin ballastirovkası hansı qanuna əsasən aparılır?*
17. *Mayelərin hərəkətini öyrənmək üçün Eylər və Laqranj prinsipləri nə ilə fərqlənir?*
18. *Qərarlaşmış hərəkət dedikdə nə başa düşülür?*
19. *Maye axınının hidravliki elementlərini deyə bilərsinizmi?*
20. *Kəsilməzlik tənliyi nəyi ifadə edir?*
21. *Sərfin sabitliyi qanunu nəyi göstərir?*
22. *Maye axınının gücü necə tapılır?*
23. *Real mayələr üçün Bernuli tənliyi nəyi ifadə edir?*
24. *Hidravliki müqavimət nədir və hansı növləri var?*
25. *Boru kəmərinə hərəkət rejimləri nədən asılıdır?*
26. *Boru hidravlikasının əsas hidrodinamik oxşarlıq meyarı hansıdır?*

27. *Ölçülər nəzəriyyəsinin boru hidravlikasında tətbiqi ilə hansı məsələləri həll etmək olar?*
28. *Kavitasiyalı axınlar nə vaxt və hansı şəraitdə yaranır?*