

Multifazalı boru kəmərlərində təzyiğin paylanması haqqında

F.B. İsmayılova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: qazlı maye, təzyiç, sıxılma əmsali, multifazalı axın, qarışıq özlülüyü, təzyiç itkisi, doyma təzyiç.

DOI.10.37474/0365-8554/2021-2-58-61

e-mail: asi_zum@mail.ru

О распределении давления в мультифазных трубопроводах

Ф.Б. Исмаилов

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: газонасыщенная жидкость, давление, коэффициент сжимаемости, мультифазный поток, вязкость смеси, потеря давления, давление насыщения.

Результаты исследований последних лет и измерений фактических значений давления в технологических промысловых трубопроводах показывают, что характер распределения давления в мультифазных трубопроводах отличается от распределения давлений в монофазных трубопроводах.

В статье проанализированы факторы, влияющие на распределение давления в газонасыщенных жидкостях при наличии фазовых преобразований. С учетом изменений сжимаемости газонасыщенной смеси построена математическая модель для распределения давления по длине трубопровода.

Было установлено, что в зависимости от степени сжимаемости и режима потока распределение давления в мультифазном трубопроводе монотонно уменьшается по экспоненциальному закону.

On the pressure distribution in multi-phase pipelines

F.B. Ismayilova

Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: gas-saturated fluid, pressure, compressibility ratio, multi-phase flow, mixture viscosity, pressure loss, saturation pressure.

The results of investigations and measurements of actual pressure values carried out recently in technological-field pipelines show that the nature of pressure distribution in multi-phase pipelines differs from those in mono-phase ones.

The paper analyzes the aspects affecting the pressure distribution in gas-saturated fluids in the presence of phase transformations. Considering the changes in compressibility of gas-saturated mixture, a mathematical model for pressure distribution through the length of pipeline has been developed.

It was defined that depending on the compressibility ratio and flow regime, the pressure distribution in multi-phase pipeline decreases steadily at an exponential rate.

Aparılan çoxsaylı tədqiqatlarla müəyyən edilmişdir ki, qazlı neftlərin boru kəmərlərlə yığılması və naqli zamanı hətta təzyiğin doyma təzyiqindən yuxarı qiymətlərində belə heterogen sistemlərdə biricinsli olmayan strukturlar və anomalqla müşahidə olunan reoloji xüsusiyyətlər mövcud olur. Qeyd olunanlar isə öz növbəsində boru kəmərlərində baş verən təzyiç (enerji) itkilərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir [1–6].

Qazlı mayelərlə aparılan laboratoriya sınaq-

ları göstərir ki, bu sistemlərdə fəzaya keçid vəziyyətində digər parametrlərlə yanaşı, qarışıqın sıxılmasını xarakterizə edən parametrlər də xeyli dəyişikliyə uğrayır. Yaranan multifazlı qarışıqlar və qeyri-taraz axınlar əsasən təzyiğin mümkün dəyişmələrinin (paylanması) hansı xarakterli olmasından asılı olaraq baş verir.

Hazırda multifazlı boru kəmərlərində bir çox amillərdən asılı olan təzyiğin kəmər boyu necə paylanması mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki,

təzyiğin necə paylanması (monoton yaxud qeyri-monoton) boru kəmərinin hidravlik xarakteristikasına əhəmiyyətli təsir etdiyi və lokal olaraq kəmər boyu tuxacların və ya dayanıqsız zonalarn diaqnostikasına imkan yaratdığı üçün boru kəmərlərinin təhlükəsizliyi və iş rejimlərinin səmərəliliyini artırmaq üçün çox vacibdir.

Nəql olunan qazlı mayeni içərisində qaz rüşeymlərinin bərabər paylandığı, qatılığın isə sistemdə təzyiğin azalması ilə çoxaldığını baş verdiyi bir dispers sistem kimi qəbul edərək baxılan qarışıq üçün özlülüyün təzyiğdən asılılığını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar [7]:

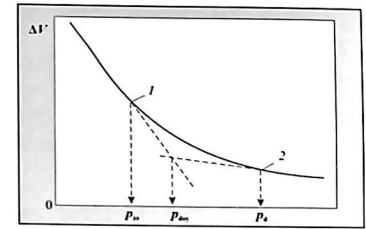
$$v = v_0(1 + \alpha p), \quad (1)$$

burada α – sıxılma dərəcəsi; p – təzyiç; v_0 – qazlı mayenin normal şəraitdə özlülüydür.

Məlumdur ki, doyma təzyiqindən p_d yuxarı mikrorüşeymlərin əmələgəlmə təzyiqindən p_m başlayaraq mikro qaz hissəciklərinin qatılığı çoxaldıqca qazlı mayenin özlülüyü növbəti artırır, əksinə azalır. Doyma təzyiç və ondan yuxarı təzyiçlərdə ($p_d < p < p_m$) qazlı maye sistemlərinin vəziyyəti çox maraqlıdır. O zaman ki, mayedən qazın ayrılması və həll olması mikrorüşeymlər, yəni mikrooskopik qaz qabarıqları formasında baş verir, onda onların ətrafında yeni fazanın sonrakı artımı davam etmiş olur. Bu zaman həm qazlı maye, həm də kondenslaşan qazlar üçün fazalar arasındakı tarazlıq dayanıqlı olmayacaq. Ona görə ki, yeni yaranan radiusun azca dəyişməsi faza çevrilməsi təzyiqini dəyişmiş olacaqdır [1–3].

Təzyiğin doyma təzyiqindən yuxarı qiymətlərində qaz fazasının demək olar ki, molekulyar səviyyədə mayədə disperslənməsi (həll olma) və doyma təzyiğdən aşağı düşdükcə isə qaz rüşeymlərinin (qabarıqlar) intensiv olaraq çoxalması kimi proseslər əsasən qazlı mayelərin özlülük xüsusiyyətlərinə təsir etdiyi üçün qarışıqın özlülüyünün (1) ifadəsi üzrə qiymətləndirilməsini qəbul etmək mümkündür.

Müəyyən edilmişdir ki, qazlı mayelər həcm üsulu ilə doyma təzyiqinin təyini üçün müxtəlif təzyiçlərdə qurulan $\Delta l' = f(p)$ asılığında iki halda qırılma halı baş verir (şəkil 1). Birinci hal məhz sistemdə rüşeym əmələgəlmə təzyiqinə p_m uyğun olan təzyiç hesab olunur [1, 4]. Bu cür sistemlərin sıxılma dərəcəsi qaz rüşeymlərinin yaranması və ölgülərdən asılı olaraq qonşu sahələrlə müqayisədə bir neçə dəfə çoxala bilər. $\Delta l' = f(p)$ asılılıqlarının işlənməsi üzrə aparılan təhlillər göstərir ki, sistemnin sıxılma dərəcəsinə xarakterizə edən α əmsali üzrə orta hesabı qiymət $\alpha = 10^{-7} \text{ Pa}^{-1}$ təşkil edir.



Şəkil 1. Qazlı mayelər üçün doyma təzyiqinin təyini

Ümumiyyətlə, dispers sistemlərin hər hansı bir reoloji modelə təsvir olunması çox çətindir. Tədqiqatçılar tərəfindən müəyyən edilmişdir ki, bu cür sistemlərin hərəkət modelləri sürət, materialın xassəsi, hissəciklərin forması və qatılığı kimi amillərdən asılı olaraq seçilir.

Fərz edək ki, diametri D , uzunluğu L olan boru kəmərinə p_0 təzyiqində qazı mayenin doyma təzyiqindən yuxarı ($p_0 > p_m$) təzyiçlə hərəkətə başlayır. Boru kəmərinin çıxışında olan son təzyiç p_{son} doyma təzyiqindən kiçikdir ($p_{son} < p_m$). Məlumdur ki, hərəkət zamanı təzyiç düşməsi ilə bağlı sistemdə əvvəl qaz rüşeymləri yaranır və tədricən onların qatılığı çoxalır. Deməli, boru kəmərinə homogen və heterogen olmaqla multifazlı axınlar olacaqdır.

Leibenzonun ümumiləşdirilmiş düsturunu və (1) ifadəsinə nəzərə almaqla hərəkət tənliyini aşağıdakı kimi yazı bilirik [4, 6]:

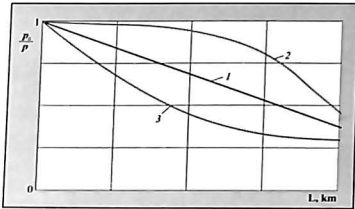
$$-\frac{dp}{dx} = N(1 + \alpha p)^m, \quad (2)$$

$$N = \frac{Ag^{m+2}v_0^m}{y^{m+1}D^{3-m}}; A = \frac{8a}{4^m \pi^{2-m} g},$$

burada α və m – buruda hərəkət rejimini xarakterizə edən əmsallar (laminar axın üçün $a = 64$, $m = 1$); M – qarışıqın kütlə sarfı, γ – qarışıqın xüsusi çəkisi ($\gamma = \rho g$); D – borunun diametridir. Qeyd etmək lazımdır ki, axının rejimi və sürütmə zonalarn Reynolds ədədindən asılı olaraq təyin edilir.

Əgər baxılan multifazlı boru kəməri horizontal deyilsə ($\Delta z = z_2 - z_1 \neq 0$), onda kəmərin son və başlanğıc geodezik hündürlüklər fərqi Δh təzyiç üçün lazım olan təzyiç itkisi p_g hesablanmalıdır. Reynolds ədədi və təzyiç itkisi p_g adi qayda ilə, aşağıdakı ifadələrdə əsasən təyin edilir:

$$Re = \frac{4Q}{\pi D v} = \frac{4Mg}{\pi D \gamma v},$$



Şəkil 2. Mono və multifazlı kəmərlərdə təzyiğin paylanması:
1, 2, 3 – təzyiğin uyğun olaraq neft, qaz və multifazlı kəmərdə paylanması

$$p_i = \rho g(z_0 - z_i).$$

Nəzərə alsaq ki, M qarışığın kütlə sərfi və y xüsusi çəkisi boru kəmərinin uzunluğu boyu dəyişmir, onda (2) differensial tənliyini $x = 0$ olduqda $p = p_0$ şərtləri daxilində həll edərkən aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\ln \left(\frac{1 + \alpha p}{1 + \alpha p_0} \right)^m = -\alpha m N x. \quad (3)$$

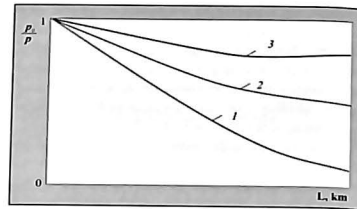
Onda (3) ifadəsindən təzyiğin kəmərlər boyu paylanması əks etdirən aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$p = \frac{1}{\alpha m} \left[(1 + \alpha p_0) e^{-\alpha N x} - 1 \right]. \quad (4)$$

Sonuncu ifadədən görüldüyü kimi, $x = 0$ olduqda $p = p_0$ (yəni kəmərin başlanğıc təzyiqi), $x = L$ olduqda isə boru kəmərinin sonundakı təzyiğin aşağıdakı ifadəsini alırıq:

$$p_{\text{son}} = \frac{1}{\alpha m} \left[(1 + \alpha p_0) e^{-\alpha N L} - 1 \right]. \quad (5)$$

(4) ifadəsindən görüldüyü kimi, multifazlı axınlar üçün təzyiğin paylanması hərəkət rejimi və qarışığın sıxılma dərəcəsi α asılı olaraq, kəmərlər boyu eksponensial qanunla azalır (bax: şəkil 1). Müqayisə üçün təzyiğin monofazlı neft və



Şəkil 3. Müxtəlif hərəkət rejimlərində sürülməyə sərf olunan nisbi təzyiqlikisinin kəmərlər boyu dəyişməsi:
1, 2, 3 – uyğun olaraq $m = 1$, $m = 0.25$, $m = 0.123$ qiymətləri üçün

qaz kəmərlərində paylanması şəkil 2-də göstərilmişdir.

Kəmərlər boyu təzyiğin paylanmasının laminar hərəkət rejimi üçün dəyişməsinə baxaq. Əgər $m = 1$, $\alpha = 64$ olduğunu nəzərə alsaq, onda laminar rejimdə təzyiğin paylanması üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$p = \frac{1}{\alpha} \left[(1 + \alpha p_0) e^{-\alpha N x} - 1 \right], \quad (6)$$

$$\text{burada } N_1 = \frac{128 M v_0}{\pi D^4}.$$

Onu da qeyd etmək lazımdır ki, sürülməyə sərf olunan nisbi təzyiqlikisinin monoton olaraq ən çox azalması multifazlı axının laminar rejimində yəni $m=1$ olduqda baş verir (şəkil 3). Turbulent axının inkişafı ilə həll olan qazın müsbət təsiri azalmağa başlayır.

Nəticə

Neft və qaz kəmərlərində monofazlı axınlardan fərqli olaraq multifazlı axınlarda təzyiğin paylanması qarışığın sıxılma dərəcəsi və hərəkət rejimlərindən asılı olaraq eksponensial qanunla baş verir. Qarışığın sıxılma dərəcəsi çoxaldıqca boru kəməri boyu təzyiqlik eksponensial qanunla azalır.

Ədəbiyyat siyahısı

1. *Mirzədzənczadə A.X., Xasanov M.M., Baxtizin P.H.* Modelirovaniye protsessov neftegazodobychi (nelineynost', neravnomerost', neopredelyonnost'). – M.: Izhevsk, 2004, 368 s.
2. *Sattarov R.M., Farzane P.Ya.* Issledovaniye dvizheniya gazozhidkostnykh sistem s uchotom obrazovaniya mikrozarodyshyey // Inzhenerno-fizicheskii zhurnal, 1987, № 5, s. 765-771.
3. *Mamedzade A.M., Mamedzade R.V., Melikov G.X., Salavatov T.Sh.* Ob effekte zarodyshoobrazovaniya v geterogenykh sredakh i primeneniye ego v nefteдобыче // Neftgazzykhkarma proseslerinin optimallashtirilmesi. Elmi əsərlər toplusu Bakı, 1987, s. 11-17.
4. *Lutoshkin G.S.* Sbor i podgotovka nefiti, gaza i vody. – M.: Nedra, 1983, 224 s.
5. *Guzhov A.I.* Sovmestnyy sbor i transport nefiti i gaza. – M.: Nedra, 1973, 280 s.
6. *Aliiev R.A., Belousov V.D. i dr.* Truboprovodnyy transport nefiti i gaza. – M.: Nedra, 1988, 368 s.
7. *Leibenzon L.S.* Sbraniye trudov. t. 3. – M.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1955, 678 s.

References

1. *Mirzədzənczadə A.X., Xasanov M.M., Nakhizin R.N.* Modelirovaniye protsessov neftegazodobychi (nelineynost', neravnomerost', neopredelyonnost'). – M.: Izhevsk, 2004, 368 s.
2. *Sattarov R.M., Farzane P.Ya.* Issledovaniye dvizheniya gazozhidkostnykh sistem s uchotom obrazovaniya mikrozarodyshyey // Inzhenerno-fizicheskii zhurnal, 1987, No 5, s. 765-771.
3. *Mamedzade A.M., Mamedzade R.V., Melikov G.X., Salavatov T.Sh.* Ob effekte zarodyshoobrazovaniya v geterogenykh sredakh i primeneniye yevo v nefteдобыче // Neftgazzykhkarma proseslerinin optimallashtirilmesi. Elmi əsərlər toplusu, Bakı, 1987, s. 11-17.
4. *Lutoshkin G.S.* Sbor i podgotovka nefiti, gaza i vody. – M.: Nedra, 1983, 224 s.
5. *Guzhov A.I.* Sovmestnyy sbor i transport nefiti i gaza. – M.: Nedra, 1973, 280 s.
6. *Aliiev R.A., Belousov V.D. i dr.* Truboprovodnyy transport nefiti i gaza. – M.: Nedra, 1988, 368 s.
7. *Leibenzon L.S.* Sbraniye trudov. t. 3. – M.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1955, 678 s.