

Mürəkkəb relyefli maye qaz kəmərlərində multifazalı zonaların tənzimlənməsi haqqında

Q.Q. İsmayilov, t.e.d.,
F.B. İsmayilova, t.ü.f.d.,
X.T. Cahangirova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: maye qaz, multifazalı axın, doymuş buxar təzyiqi, vakuummetrik hündürlük, basqı, təzyiq itkisi.

DOI.10.37474/0365-8554/2023-11-26-30

e-mail: asi_zum@mail.ru

О регулировании мультифазных зон в рельефных трубопроводах при транспортировке сжиженных газов

Г.Г. Исмаилов, д.т.н., Ф.Б. Исмаилова, д.т.н., Х.Т. Джахангирова
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: сжиженный газ, мультифазный поток, давление насыщенного пара, вакуумметрическая высота, давление, потери давления.

Трубопроводный транспорт является эффективным способом перекачки сжиженных газов. Несмотря на это при перекачке таких газов в силу фазовых переходов в трубопроводе образуются мультифазные зоны. Такие зоны чаще образуются при остановке трубопроводных систем, а также аварийных ситуациях.

Наличие мультифазных зон в трубопроводах увеличивает начальное давление и эксплуатационные расходы перекачки. В статических условиях, а также при установившихся режимах функционирования трубопровода диагностирование и регулирование таких зон имеет практическое значение.

В статье на примерах показана возможность определения и регулирования мультифазных зон в трубопроводах, перекачивающих сжиженные углеводородные газы.

On regulation of multiphase zones in liquid gas pipelines with complex relief

G.G. Ismayilov, Dr. in Tech. Sc., F.B. Ismayilova, PhD in Tech. Sc., X.T. Jahangirova
Azerbaijan State Oil and Industry University

Keywords: liquid gas, multiphase flow, saturated vapor pressure, vacuum head, head, pressure loss.

Despite the positive aspects of pipeline transportation, which is considered one of the efficient transportation methods of liquefied gases, it is inevitable that there are very important shortcomings in the transportation process, such as the transition to the gas phase and the creation of multiphase zones in the pipeline. These cases are observed more often when the stoppage of work of the pipelines and accidents occur. The presence of multiphase flow zones greatly increases the pressure at the beginning of the pipeline and the cost of transportation. Therefore, it is very important to detect such gaps and flows, whether in static conditions or in a stationary flow, and to determine their coordinates.

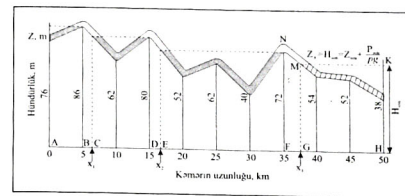
In the article, the possibility of diagnostics of gaps and imbalanced volume created during the transportation of liquid gases, as well as the possibility of adjusting multiphase zones in pipelines, is shown in the example of separate cases.

Maye qazların spesifik xüsusiyyətlərini, xüsusən də asanlıqla buxar fazaya çevrilməsini nəzərə alsaq, onların nəqlini həyata keçirən relyefli boru kəmərlərində buxara (qaza) çevrilmə, multifazalı axın zonalarının daha intensiv şəkildə baş vermə ehtimalı yüksəkdir [1–6]. Neft (neft məhsulu) kəmərlərində olduğu kimi, maye-qaz kəmərlərində də istər statik şəraitdə, istərsə də qararlaşmış nəql prosesində qeyd olunan axın zona-

larının yaranma səbəblərinin düzgün araşdırılması və yerlərinin təyini, həmçinin onların tənzimlənməsi çox vacibdir. Bu cür boşluqların (buxar fazası ilə dolan) yeri və uzunluğunun təyini məqsədilə mürəkkəb relyefli şərti boru kəmərinin təmsalında araşdırılmasına baxılmışdır.

Fərz edək ki, maye qazı nəql edən boru kəməri trası mürəkkəb relyefli, uzunluğu $L = 50$ km, diametri $d = 114$ mm olan bir kəmərdir. Statik vəziy-

yətdə kəmərin maye ilə dolan və boşluqlar olan hissələri kəmərin sıxlaşdırılmış profilində göstərilmişdir (şəkil).



Şərti boru kəmərinin sıxlaşdırılmış profili

Sıxlaşdırılmış profilə geodezik hündürlükləri və kəmərin uzunluğunu əks etdirən rəqəmlər şərti qəbul olunmuş rəqəmlərdir.

Neft kəmərlərinin istismarı təcrübəsinə əsaslanaraq söyləmək olar ki, boru kəmərlərindən mayenin çənlərə boşaldılması ilə əlaqədar texnoloji əməliyyatlar zamanı trasın relyefindən asılı olaraq kəmərdə maye sütununun qırılması və neft (neft məhsulları) buxarları ilə dolan boşluqların yaranması labüddür. Həcmi və yeri kəmərin profili ilə müəyyən edilən bu boşluqlara baxmayaraq, boru xəttinin əksər hissəsi maye ilə dolmuş qalır. Boru kəmərlərində qalan bu həcm disbalans, nəql üçün minimal həcm hesab edilir. Kəmərdə yaranan bu cür boşluqlar sərfi sıfır olan (dolma dərəcəsi olmayan) buxar fazalı zonalardan ibarətdir. Mahiyyət etibarı ilə qeyd olunanları maye qazların nəqlini həyata keçirən boru kəmərlərinə də aid etmək olar.

Yaranan boşluqların yerinin təyini məqsədilə sonda $H_{\text{son}} = z_{\text{son}} + p_{\text{son}}/\rho g$ ifadəsi ilə təyin edilən basqı şaquli miqyasda qeyd olunur (K nöqtəsi) və həmin nöqtədən profili kəsənədək horizontal xətt çəkilir. Kəşimədən alınan M nöqtəsi yaranan sonuncu boşluğun sonu, həmin boşluğun başlanğıcı isə profilə ən yaxın və maksimal hündürlüyə malik nöqtə (N) olacaq. Şəkildən göründüyü kimi, birləşmiş qablar qanununa uyğun olaraq kəmərdə sonluqlarının koordinatları x_1 və x_2 nöqtələri olan digər iki boşluq zonası da yaranmış olacaq.

Maye qaz kəmərinə statik vəziyyətdə yaranan i – ci boşluğun uzunluğunu (l_i) xətti interpolasiya üsulunu tətbiq etməklə aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$l_i = \frac{z_{x1} - z_{x3}}{z_1 - z_3} (L_1 - L_{x3}), \quad (1)$$

burada z_{x1} , L_{x3} – uyğun olaraq i -ci boşluğun başlanğıc nöqtəsinin (aşırım nöqtəsinin) geodezik

hündürlüyü və kəmərin başlanğıcından həmin nöqtəyədək olan məsafə, m ; z_{x1} – i -ci boşluğun son nöqtəsinin geodezik hündürlüyü, m ; z_1 – i -ci boşluq yerləşən kəmər hissəsinin – sektorun son nöqtəsində geodezik hündürlük, m ; L_1 – geodezik hündürlüyü z_1 olan nöqtəyədək kəmərin uzunluğudur, m .

Qeyd olunanlara əsasən statik şəraitdə yaranan boşluqların cəm həcmi (V_{bos}) aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$V_{\text{bos}} = \sum_{i=0}^n l_i \frac{\pi d^2}{4}. \quad (2)$$

Onda həcmi $V_{\text{b.k}}$ olan boru kəmərinə qalığ mayenin həcmi aşağıdakı kimi olar:

$$V_{\text{qal}} = V_{\text{b.k}} - V_{\text{bos}} = \frac{\pi d^2}{4} (L - L_{\text{bos}}), \quad (3)$$

burada n – yaranan boşluqların sayıdır, $n = 3$ təşkil edir; L – boru kəmərinə yaranan boşluqların cəm uzunluğudur (m). Baxılan halda boş boru kəmərinə qalığ mayenin həcmi kəmərin AB, CD, EF hissələrini dolduran mayenin həcməlinin cəmindən ibarət olacaq. Kəmərin sonunda Hson basqısı olarsa, qeyd olunan hissələrə kəmərin FG hissəsində əmələ gələn boşluq əlavə olunacaq.

Kəmərdə qalığ maye həcmının hesablanması misalına nəzər salaq.

Fərz edək ki, uzunluğu $L = 50$ km olan maye qaz nəql edən kəmərin ($d = 144$ mm, $\rho = 550$ kq/m³) sıxlaşdırılmış profili şəkildə göstərilən kimidir. Statik vəziyyətdə kəmərdə mayenin həcminin müəyyən edilməsi tələb olunur. Atmosfer təzyiqinin $p_0 = 0.1013$ MPa, maye qazın doymuş buxar elastikliyi təzyiqinin isə $p_{\text{be}} = 0.2$ MPa qəbul etsək, onda vakuummetrik hündürlük $h_g = p_{\text{be}}/\rho g \cdot 0.2 \cdot 10^3 / 550 \cdot 9.81 = 18.5$ m təşkil edəcək.

Şəkildən göründüyü kimi, baxılan halda son məntəqədə başlayaraq 35-ci km-ə kimi kəmərlər tam boşalacaq. Digər tərəfdən, boru xəttinin (5–10) və (15–20) km intervallarında uyğun olaraq son nöqtələri x_1 və x_2 olan boşluqlar yaranmış olacaq. Həmin nöqtələr üçün basqılar uyğun olaraq aşağıdakı kimi olacaq:

$$z_{x1} = 80 + h_g = 80 + 18.5 = 98.5 \text{ m}$$

$$z_{x2} = 72 + h_g = 72 + 18.5 = 90.5 \text{ m}$$

Onda (1) ifadəsinə əsasən x_1 və x_2 koordinatları üçün boşluqların uzunluğu uyğun olaraq $l_1 = 2580$ m və $l_2 = 1301$ m təşkil edəcək. Kəmərin sonunda (35–50) km intervallında boşalan kəmərlər hissəsinin uzunluğu $l_3 = 15$ km olduğu üçün boşluqların ümumi uzunluğu aşağıdakı kimi olacaq:

$I_{\text{top}} = I_1 + I_2 + I_3 = 2580 + 1301 + 15000 = 18881$ m
Beləliklə, kəmərdə qalan maye qazın həcmi (3) ifadəsinə əsasən aşağıdakı kimi olacaq:

$$I_{\text{qal}} = \frac{\pi d^2}{4} (L - L_{\text{top}}) = \frac{3.14 \cdot 0.144^2}{4} (50000 - 18881) = 506.6 \text{ m}^3.$$

Əgər kəmə tam dolu olarsa, onda bu həcm $V = 813.9 \text{ m}^3$ təşkil edərdi. Odur ki, multifazalı sahələrin yaranması hesabına disbalans həcm $813.9 - 506.6 = 307.3 \text{ m}^3$ təşkil edəcək.

İndi isə maye qaz kəmərinə multifazalı axın zonalarının yaranmaması və onların tənzimlənməsi məsələlərini araşdıraraq. Verilən şərtlər daxilində, məhsuldarlıq (sərf) nə qədər olmalıdır ki, kəmərdə multifaza yaranmasın?

Baxılan maye qaz kəmərinə nəql prosesində multifazalı axın zonalarının yaranmaması üçün sərfin minimal qiymətinin tapılmasına baxaq. Sonda $p_{\text{son}} = 0.1 \text{ MPa}$ qəbul etsək, onda hidravlik maillik aşağıdakı kimi olacaq:

$$i = \frac{H(35) - H(50)}{(50 - 35)10^3} = \frac{\left(72 + \frac{0.2 \cdot 10^6}{550 \cdot 9.81}\right) - \left(38 + \frac{0.1 \cdot 10^6}{550 \cdot 9.81}\right)}{15000} = 0.00371 \frac{\text{m}}{\text{m}} = 3.71 \text{ m/km}.$$

Ardıcıl yaxınlaşma ilə axın sürətini hesablasaq, $9 = 0.49 \text{ m/s}$ alırıq.

Onda

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v = \frac{3.14 \cdot (0.144^2) \cdot (0.49) \cdot 3600}{4} = 29 \text{ m}^3 / \text{saat}.$$

Kəmərdə sərf $Q = 29 \text{ m}^3/\text{saat}$ olduqda başlanğıcda təzyiqin qiymətini hesablayaq. Maye qaz kəmərinə multifazanın yaranmaması üçün hidravlik mailliyin $i = 3.71 \text{ m/km}$ olduğunu nəzərə alsaq, başlanğıcda basqı aşağıdakı kimi olar:

$$H(0) = H(50) + i \cdot 50 = 51.59 + 3.71 \cdot 50 = 237 \text{ m}.$$

Onda başlanğıcda təzyiqin qiyməti aşağıdakı kimi olacaq:

$$p_b = \rho g [H(O) - z_0] = 550 \cdot 9.81 [237 - 76] = 0.868 \text{ MPa} = 8.68 \text{ kqk/sm}^2.$$

Beləliklə, kəmərin sonunda təzyiq $p_s = 1 \text{ kqk/sm}^2$ olduqda, multifazanın yaranmaması üçün başlanğıcda təzyiq $p_b = 8.68 \text{ kqk/sm}^2$ olmalıdır.

Multifazalı axının yaranması ilə bağlı digər bir məsələnin araşdırılmasına baxaq. Əvvəlki şərtlər daxilində fərz edək ki, nəql olunan mayenin sərfi $Q = 29 \text{ m}^3/\text{saat}$ təşkil edir. lakin kəmərin sonunda təzyiq yoxdur ($p_s = 0$). Kəmərdə multifazalı zonanın mövcudluğu və onun yerinin müəyyən edilməsi tələb olunur. Multifazalı zonanın yerini təyin etmək üçün əvvəlcə nəql parametrlərini hesablayaq [4, 5]

$$v = \frac{4 \cdot 29}{3600 \cdot 3.14 (0.144)^2} = 0.49 \text{ m/s},$$

$$\text{Re} = \frac{0.49 \cdot 0.144}{3 \cdot 10^{-8}} = 2352000,$$

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{0.15}{144} + \frac{68}{2352000} \right)^{0.25} = 0.0198,$$

$$i = 0.0198 \frac{1}{0.144} \frac{0.49^2}{2 \cdot 9.81} = 0.00168 \frac{\text{m}}{\text{m}} = 1.68 \frac{\text{m}}{\text{km}},$$

$$p_s = 0 \text{ olduğu üçün sonda olan basqı } H_s = 0.$$

Kəmərin sonunda (50-ci km) və (35, 40, 45 km-də) tam basqını hesablayaq:

$$H(50) = Z50 + H_s = 38 + 0 = 38 \text{ m},$$

$$H(45) = H(50) + i \cdot 5 = 38 + 1.68 \cdot 5 = 46.4 \text{ m} < 52 + 18.5 = 70.5 \text{ m},$$

$$H(40) = H(45) + i \cdot 5 = 46.4 + 1.68 \cdot 5 = 54.8 \text{ m} < 54 + 18.5 = 72.5 \text{ m},$$

$$H(35) = H(40) + i \cdot 5 = 54.8 + 1.68 \cdot 5 = 62.4 \text{ m} < 72 + 18.5 = 90.5 \text{ m}.$$

Hesablamalardan aydın olur ki, kəmərin FG hissəsində tam basqı geodezik hündürlüklərdən kiçik olduğu üçün 35–50 km zonasında multifazalı axın zonası yaranacaq. Bu halda $x = 35 \text{ km}$ (multifazalı zonanın başlanğıc nöqtəsi) aşırım nöqtəsi, sonu isə kəmərin sonu olacaq. Başqa sözlə 35–50 km zonanı tamamilə multifazalı axın zonası kimi qəbul etmək olar.

Maye qaz nəql edən boru kəmərinin digər nöqtələrində də bu cür zonaların yaranıb-yaranmaması yoxlayaq.

$$H(30) = H(35) + i \cdot 5 = 62.4 + 8.4 = 70.8 \text{ m} > 40 + 18.5 = 58.5 \text{ m},$$

$$H(25) = H(30) + i \cdot 5 = 70.8 + 8.4 = 79.2 \text{ m} > 62 + 18.5 = 80.5 \text{ m},$$

$$H(20) = H(25) + i \cdot 5 = 79.2 + 8.4 = 87.6 \text{ m} > 52 + 18.5 = 70.5 \text{ m},$$

$$H(15) = H(20) + i \cdot 5 = 87.6 + 8.4 = 96.0 \text{ m} > 80 + 18.5 = 98.5 \text{ m},$$

$$H(10) = H(15) + i \cdot 5 = 96.0 + 8.4 = 104.4 \text{ m} > 62 + 18.5 = 80.5 \text{ m},$$

$$H(5) = H(10) + i \cdot 5 = 115.2 + 8.4 = 123.6 \text{ m} > 86 + 18.5 = 104.5 \text{ m},$$

$$H(0) = H(5) + i \cdot 5 = 123.6 + 8.4 = 132.0 \text{ m} > 76 + 18.5 = 94.5 \text{ m}.$$

Beləliklə, kəmərdə digər multifazalı axın zonaları yoxdur. Onda kəmərin başlanğıcında olan təzyiq aşağıdakı kimi olacaq:

$$p_b = \rho g [H(O) - Z_0] = 550 \cdot 9.81 \cdot [132.0 - 76] = 302148 \text{ Pa} = 3.02 \text{ kqk/sm}^2.$$

Aşağıda digər bir halın araşdırılmasına da baxılmışdır. Maye qazın nəqli zamanı yuxarıdakı şərtlər daxilində multifazalı axın zonasının yaranmaması üçün sonda təzyiq neçə MPa olmasına baxaq. Bu halda sərfin necə dəyişməsinə araşdıraraq. Əvvəlcə $x = 35 \text{ km}$ və $x = 50 \text{ km}$ hissələri arasında basqı itkisini məlum olan hidravlik mailliyə əsasən hesablayaq:

$$H(50) - H(35) = i \cdot 15 = 1.68 \cdot 15 = 25.2 \text{ m}.$$

Kəmərin sonunda əlavə basqı olmadığı üçün tam basqı təkcə geodezik basqının hesabına $H(50) = 38 \text{ m}$ olacaq. Onda 35-ci km-də tam basqı aşağıdakı kimi olar:

$$H(35) = H(50) + i(50 - 15) = 38 + 25.2 = 63.2 \text{ m}$$

Trasın 35-ci km-də geodezik hündürlük $Z_{35} = 72 \text{ m}$ təşkil etdiyi üçün, yəni $H(35) = 63.2 \text{ m} < 72 \text{ m}$ olduğundan (35, 50) seqmentində multifazalı axın zonası yaranacaq.

İndi fərz edək ki, kəmərin sonunda təzyiqin $p_{\text{son}} = 1 \text{ kqk/sm}^2$ -dək qaldırılması həyata keçirilmişdir. Bu halda sonda basqı $H_s = (1 \cdot 98100) / (550 \cdot 9.81) = 18.2 \text{ m}$ olacaq. Bu halda sonda olan tam basqı $H(50) = H(50) = 38 + 18.2 = 56.2 \text{ m}$ olar.

Beləliklə, 35-ci km-dəki tam basqı aşağıdakı qiyməti alacaq:

$$H(35) = 56.2 + 25.2 = 81.4 \text{ m} < Z_{35} + h_v = 72 + 18.5 = 90.5 \text{ m}$$

Odur ki, bu halda da multifazalı axın zonası mövcud olacaq.

Əgər kəmərin sonunda təzyiqi 2 dəfə artırısaq, yəni $p_{\text{son}} = 2 \text{ kqk/sm}^2$ olarsa, onda sonda yaranan basqı

$$H_{\text{son}} = \frac{2 \cdot 98100}{550 \cdot 9.81} = 36.4 \text{ m}.$$

Bu halda 50 və 35-ci km-də yaranan tam basqılar uyğun olaraq aşağıdakı qiymətləri alacaq:

$$H(50) = 38 + 36.4 = 74.4 \text{ m}$$

$$H(35) = 74.4 + 25.2 = 109.6 \text{ m}$$

Göründüyü kimi, bu halda

$$H(35) = 109.6 \text{ m} > Z_{35} + h_v = 72 + 18.5 = 90.5 \text{ m}$$

Beləliklə, boru kəmərinin sonunda multifazalı zona yaranmayacaq.

Nəticə

Boru kəmərinə statik vəziyyətdə yaranan qalıq maye və boşluqların həcmünün müəyyən edilməsi məsələsi həll olunmuş, mayenin multifazalı axın zonaları hesabına yaranan disbalans həcm dəqiqləşdirilmişdir. Kəmərdə multifazalı zonaların yaranmasına uyğun gələn sərfin və başlanğıc təzyiqin müvafiq qiymətləri təyin edilmişdir.

Multifazalı axın zonalarının tənzimlənməsi və ləğvinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. İsmayilova F.B., İskəndərov E.X. Multifazalı boru kəmərlərində dayanıqsız hidravlik xarakteristikaların diaqnostikasi // AMA, xəbərlər, Bakı, 2021, № 1, s. 54–57.
2. İsmayilov Q.Q., İskəndərov E.X., Fətəliyev V.M., İsmayilova F.B. Təbii qazın dispers halını saxlamaqla boru kəmərinin stabil rejiminin təmin edilməsi üsulu / Azərbaycan neft təsərrüfatı, 2022, № 8, s. 35–40.
3. Rəsulov A.M. Təbii qazların yığılması, nəqlə hazırlanması və istifadəsi. SOCAR, NQETLİ-nin nəşri, 2008, 454 s.
4. Алиев Р.А., Белоусов Б.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа. – М.: Недра, 1988, 368 с.
5. Галеев В.Б., Карпачев М.З., Харчамерко В.И. Магистральные нефтепродуктопроводы. – М.: Недра, 2008, 126 с.
6. Гриченко А.И., Кланчук О.В., Харченко Ю.А. Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах. – М.: Недра, 1994, 279 с.

References

1. *Ismayilova F.B., Iskandarov E.Kh.* Multifazaly boru kemerlerinde dayanıqsız hidravlik xarakteristikaların diaqnostikasi // AMA Xeberler, Baki, 2021, № 1, s. 54-57.
2. *Ismayilov G.G., Iskandarov E.Kh., Feteliyev V.M., Ismayilova F.B.* Tebii gazın dispers halını saxlamaqla boru kemerinin stabil iş regiminin temin edilməsi usulu / ANT, Baki, 2022, № 8, s. 35-40.
3. *Resulov A.M.* Tebii gazların yığılması, negle hazırlanması və istifadəsi, ARDNŞ, NQETLI-nin neshri, 2008, 454 s.
4. *Aliiev R.A., Belousov B.D., Nemudrov A.G. i dr.* Truboprovodniy transport nefti i gaza. – M.: Nedra, 1988, 368 s.
5. *Galeev V.B., Karpathev M.Z., Kharthamerko V.I.* Magistralniye nefteproduktprovodi. – M.: Nedra, 2008, 126 s.
6. *Grichenko A.I., Klapthuk O.V., Kharthenko U.A.* Gidrodinamika gazogidkostonikh smesey v skvaginax I truboprovodakh. – M.: Nedra, 1994, 279 s.