

UDC 662.987.2

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_03_46_51

Effect of Pressure and Temperature Changes under Static Conditions on Liquid-Gas Bands

G.G. Ismayilov, Kh.T. Jahangirova

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)

For correspondence: Jahangirova Khadija / e-mail: xedi1996@mail.ru

Abstract

One of the most important conditions is that when transporting liquefied gasses, the pressure must not be allowed to fall below the saturation pressure. The formation of a vapor (gas) phase in the pipeline not only increases energy costs, but also adversely affects the safety of transportation. Since the process of transporting liquefied gas is very sensitive to changes in ambient temperature and pressure in the system, any changes in temperature and pressure in both static and dynamic conditions cause serious changes in the liquefied gas pipeline. This effect also affects its volume and other macroscopic parameters associated with the physicochemical properties of liquid gasses. Taking into account the above, the changes caused by pressure and temperature factors in liquefied gas pipelines are investigated. The article shows the significant influence of the temperature factor on the change in pressure under static conditions in a pipeline transporting liquefied gas, and the importance of taking it into account.

Keywords: liquid gas, hydrocarbon, temperature, pressure, saturated steam, vapor phase.

Accepted 12.06.2023

Received 19.09.2024

Revised 23.09.2024

For citation:

G.G. Ismayilov, Kh.T. Jahangirova

[Effect of Pressure and Temperature Changes under Static Conditions on Liquid-Gas Bands]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, № 3, pp. 46-51 (in Azerbaijani)

Maye qaz kəmərlərində statik şəraitdə təzyiq və temperaturun dəyişməsinin təsiri

Q.Q. İsmayilov, X.T. Cahangirova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Xülasə

Ən vacib şərtlərdən biri odur ki, maye qazların nəqli zamanı təzyiqin doyma təzyiqindən aşağı düşməsinə yol vermək olmaz. Kəmərdə buxar (qaz) fazasının yaranması təkcə enerji xərclərini artırmır, həm də nəqlin təhlükəsizliyi məsələsinə mənfi təsir göstərir. Maye qazların nəqli prosesi ətraf mühitin temperaturunun və sistemdə təzyiqin dəyişməsinə çox həssas olduğu üçün istənilən temperatur və təzyiq dəyişməsi, istər statik, istərsə də dinamik şəraitdə maye qaz kəmərinə ciddi dəyişikliklərə səbəb olur. Bu təsir maye qazların fiziki-kimyəvi xassələri ilə bağlı onun həcminə və digər makroskopik parametrlərə də təsir edir. Qeyd olunanları nəzərə alaraq maye qaz kəmərlərində təzyiq və temperatur amillərinin təsirindən yaranan dəyişiklər tədqiq edilmişdir. Məqalədə maye qazı nəql edən boru kəmərinə temperatur amilinin statik şəraitdə təzyiqin dəyişməsinə təsirinin əhəmiyyətli dərəcədə olması və bunun nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir.

Açar sözlər: maye qaz, karbohidrogen, temperatur, təzyiq, doymuş buxar, buxar fazası.

Влияние изменения давления и температуры в трубопроводе сжиженного газа в статических условиях

Г.Г. Исмаилов, Х.Т. Джахангирова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Аннотация

Одним из важнейших условий является то, что при транспортировке сжиженных газов нельзя допускать падения давления ниже давления насыщения. Образование паровой (газовой) фазы в трубопроводе не только увеличивает затраты энергии, но и отрицательно сказывается на безопасности перевозок. Поскольку процесс транспортировки сжиженного газа очень чувствителен к изменениям температуры окружающей среды и давления в системе, любые изменения температуры и давления как в статических, так и в динамических условиях вызывают серьезные изменения в трубопроводе сжиженного газа. Этот эффект влияет также на его объем и другие макроскопические параметры, связанные с физико-химическими свойствами жидких газов. С учетом изложенного исследованы изменения, вызванные факторами давления и температуры в трубопроводах сжиженного газа. В статье показано существенное влияние температурного фактора на изменение давления в статических условиях в трубопроводе, транспортирующем сжиженный газ, и важность его учета.

Ключевые слова: жидкий газ, углеводород, температура, давление, насыщенный пар, паровая фаза.

Giriş

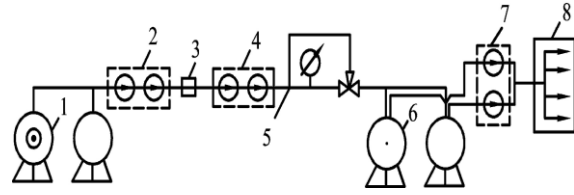
Məlumdur ki, boru kəmərləri ilə nəql üsulunun bir sıra üstünlüklərinə baxmayaraq maye qazların kəmərlər sistemi ilə səmərəli nəqli üçün hal-hazırda kifayət qədər təcrübə toplanmamışdır [1-5]. Boru kəmərləri ilə nəql zamanı ən vacib texnoloji tələb ondan ibarətdir ki, kəmərdə təzyiq elə səviyyədə saxlanılmalıdır ki, maye qazın buxara çevrilməsinə yol verilməsin. Yəni verilən temperaturlarda təzyiqin doymuş buxar təzyiqindən aşağı düşməsi baş verməsin [6-8]. Bu cür texnoloji tələb yerinə yetirilmədiyi halda boru kəmərlərində qaz tıxaclarının yaranması və istismar səmərəliliyinin aşağı düşməsi baş vermiş olur. Adətən qeyd olunan bu halın qarşısını almaq məqsədilə boru kəmərinə minimal təzyiq doymuş buxar təzyiqindən 0,6-0,8 MPa çox qəbul edilir. Bunun üçün kəmərin trasının relyefindən və nəql temperaturundan asılı olaraq çıxışda tələb olunan təzyiq qiymətinin müəyyənləşdirilməsi vacibdir. Maye qazlar üçün boru kəmərlərində təzyiqin tələb olunan minimal qiymətləri cədvəldə verilmişdir [9-10].

Cədvəl – Boru kəmərinə təzyiqin minimal qiymətləri (MPa ilə)

Table – Minimum pressure values in the pipeline (MPa)

Qazın adı	Ətraf mühitin temperaturu, °C		
	Qış fəslində		Yayda
	-20	0	25
Propan	0,94	1,2	1,7
Butan	0,70	0,8	1,05
Propan-Butan (50+50%)	0,90	1,1	1,3

Maye qazları nəql edən boru kəmərlərinin texnoloji sxemi şəkildə göstərilmişdir.



Sxem– Maye qaz kəmərinin texnoloji sxemi:

1 – baş nasos stansiyasının çənləri; 2 – baş nasos stansiyası; 3 – ölçü məntəqəsi; 4 – aralıq nasos stansiyası; 5 – boru kəməri; 6 – son məntəqədə maye qazların saxlanması üçün çənlər; 7 – son məntəqədə nasos stansiyası; 8 – paylayıcı məntəqə

Scheme – Technological scheme of the liquid gas pipeline: 1 – tanks of the main pumping station; 2 – main pumping station; 3 – dimensions; 4 – intermediate pumping station; 5 – pipeline; 6 – tanks for storage of liquid gases at the final destination; 7 – pumping station at the last point; 8 – payment point

Texnoloji sxemə uyğun maye qaz çəndən (1) nasosla (2) götürülür, ölçü məntəqəsindən (3) keçərək boru kəmərinə (5) vurulur. Zəruri hallarda, aparılan hesablamalara uyğun olaraq aralıq nasos stansiyası da tikilir və nasoslarla təchiz olunur.

Məsələnin həlli

Maye qazların nəqlinin səciyyəvi xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, nəql olunan mühitə olan təsir kəmərin boyu təzyiq və temperaturun dəyişməsindən xeyli dərəcədə asılı olur [9]. Odur ki, maye qazları nəql edən boru kəmərlərində istər statik vəziyyətdə, istərsə də kəmərin işi zamanı temperatur və təzyiq amillərinin təsirinin birgə nəzərə alınması vacibdir. Qeyd olunan amillərin dəyişilməsinin nəzərə alınmaması kəmərlərdə hətta statik vəziyyətdə buxar fazasının (boşluqların) yaranmasına səbəb ola bilər. Aşağıda bu halın araşdırılması məsələsinə baxılmışdır.

Əgər boru kəməri hər hansı t_1 temperaturunda, P_1 təzyiqi altında maye qazla tam

doldurulmuş və statik (işdən dayandırılmış) vəziyyətdədirsə, onda kəmərdə olan mayenin kütləsini (M_1) aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$M_1 = \rho_1 \cdot V_1 \quad (1)$$

Burada: ρ_1 və V_1 – təzyiqin və temperaturun P_1 və t_1 qiymətlərində uyğun olaraq mayenin sıxlığı və boru kəmərinəki həcmidir.

Boru kəmərinə təzyiq və temperaturun hər hansı cari P və t qiymətləri üçün (bir şərtlə ki, temperatur azalanda boru kəməri tam dolmuş qalsın) (1) ifadəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$M = \rho \cdot V \quad (2)$$

Mayenin sıxlığı və boru kəmərinin həcmi müvafiq P_1 , t_1 və P , t parametrlərinə uyğun olaraq aşağıdakı məlum ifadələrə əsasən təyin etmək olar [2, 3]:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \rho_0 \left[1 + \xi(20 - t_1) - \frac{P_0 - P_1}{K} \right] \\ \rho &= \rho_0 \left[1 + \xi(20 - t) - \frac{P_0 - P}{K} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= V_0 \left[1 - 2\alpha_t(20 - t_1) - \frac{P_0 - P_1}{\frac{\delta E}{d_0}} \right] \\ V &= V_0 \left[1 - 2\alpha_t(20 - t) - \frac{P_0 - P}{\frac{\delta E}{d_0}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Burada: P_0 – atmosfer təzyiqi, Pa; d_0 və δ – uyğun olaraq boru kəmərinin ilkin daxili diametri və divarının qalınlığı, mm; ξ – həcmi genişlənmə əmsalı, $1/^\circ\text{C}$; $K=1/\beta$ – elastiklik modul ($K = 1,5 \cdot 10^9$ Pa); ρ_0 – standart şəraitdə ($T=20^\circ\text{C}$) mayenin sıxlığı, kg/m^3 ; $V_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot L$ – boru kəmərinin həcmi (L – kəmərin uzunluğu, m), m^3 ; α_t – borunun materialının (poladın) istidən həcmi genişlənmə əmsalı

($\alpha_t=3,3 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$); E – borunun materialı üçün Yunq modulu, polad üçün $E=2 \cdot 10^{11}$ Pa.

(3) və (4) ifadələrini (1) və (2) ifadələrində nəzərə alsaq, kütlənin sabitliyi qanununa əsasən ($\rho_1 V_1 = \rho V$) aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$P = P_1 + \frac{\xi - 2\alpha_t}{\frac{1}{K} + \frac{d_0}{\delta E}} (t - t_1) \quad (5)$$

Beləliklə, sonuncu ifadəyə əsasən statik vəziyyətdə təzyiqin temperaturdan asılı olaraq necə dəyişməsinə müəyyənləşdirmək olar.

Bu qiymətləndirmə aşağıdakı misalın təmsalında araşdırılmışdır. Tutaq ki, sıxlığı $550 \text{ kg}/\text{m}^3$ olan maye qazı nəql edən boru kəmərinin (və ya kəmərin hissəsinin) ($d_0=514$ mm, $\delta=8$ mm, $E=2 \cdot 10^{11}$ Pa) kəmərdə $P_1=2,5$ MPa təzyiqdə temperatur $t_1=10^\circ\text{C}$ olmuşdur. Boru kəmərinə temperatur 3°C aşağı düşərsə, kəmərdə təzyiqin dəyişməsinə baxılmışdır.

Hesablama üçün buxar elastikliyi təzyiqi şərti olaraq $P_{b.e.}=5 \cdot 10^3$ Pa və $\xi=0,000831 1/^\circ\text{C}$ qəbul edilmişdir.

Verilən ilkin məlumatları (5) ifadəsində nəzərə alsaq, təzyiqin qiyməti üçün alarıq:

$$P = 2,5 \cdot 10^6 + \frac{(83,1 - 2 \cdot 3,3)10^{-5}}{\frac{1}{1,5 \cdot 10^9} + \frac{514}{8 \cdot 2 \cdot 10^{11}}} (7 - 10) \approx$$

$$\approx 0,18 \cdot 10^6 \text{ Pa} \approx 0,18 \text{ MPa}$$

Beləliklə, temperatur cəmi 3°C azalarsa, onda təzyiq $0,18$ MPa-dək aşağı düşər. Əgər temperatur 3°C -dən çox aşağı düşərsə ($\sim 3,2^\circ\text{C}$), onda baxılan halda təzyiqin buxar elastikliyi təzyiqindən aşağı düşməsi hesabına boru kəmərinə qaz buxarları ilə dolan boşluqlar yaranmış olacaq.

İndi isə tutaq ki, məsələnin verilən şərtləri daxilində temperatur amilinin

dəyişməz qaldığı hal üçün ($t=10^0C$), şərti uzunluğu $L=120$ km olan kəmərdən neçə ton məhsul boşaldılmalıdır ki, təzyiq 2,5 MPa-dan 1,0 MPa-dək düşsün.

Boru kəmərinin həcmi, o cümlədən təzyiq və temperatura olan düzəlişlər nəzərə alınmaqla hesablayaq:

$$\begin{aligned} t_1 &= 10^0C \text{ və } P = 2,5 \text{ MPa olduqda:} \\ V_1 &= V_0 \cdot [1 - 2\alpha_t(20 - t_1)] - \frac{(P_0 - P_1) \cdot d_0}{\delta E} = \\ &= 24887,3 \left[1 - 2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-5}(20 - 10) \right. \\ &\quad \left. - \frac{(0,1 - 2,5)10^6 \cdot 0,514}{0,008 \cdot 2 \cdot 10^{11}} \right] = \\ &= 24890,0 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$t_1 = 10^0C$ və $P = 1,0 \text{ MPa}$ olduqda:

$$\begin{aligned} V_2 &= 24887,3 \left[1 - 2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-5}(20 - 10) \right. \\ &\quad \left. - \frac{(0,1 - 1,0)10^6 \cdot 0,514}{0,008 \cdot 2 \cdot 10^{11}} \right] = \\ &= 24878,1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Mayenin təzyiq və temperatur amillərinə düzəliş nəzərə alınmaqla sıxlığını tapaq: ($t=10^0C$, $P=2,5 \text{ MPa}$) olduqda;

$$\begin{aligned} \rho_{10}^{(1)} &= \rho_{20} \left[1 + \xi(20 - t) + \frac{P - P_0}{K} \right] = \\ &= 550 \left[1 + 0,000831 \right. \\ &\quad \left. \cdot (20 - 10) + \frac{(2,5 - 0,1) \cdot 10^6}{1,5 \cdot 10^9} \right] = \\ &= 555,447 \frac{kq}{m^3} \end{aligned}$$

$t=10^0C$, $P=1,0 \text{ MPa}$ olduqda isə;

$$\begin{aligned} \rho_{10}^{(2)} &= 550 \left[1 + 0,000831 \cdot (20 - 10) \right. \\ &\quad \left. + \frac{(1,0 - 0,1) \cdot 10^6}{1,5 \cdot 10^9} \right] = \\ &= 554,90 \frac{kq}{m^3} \end{aligned}$$

Onda məhsulun sıxlıqların qiyməti nəzərə alınmaqla kütlələri aşağıdakı kimi olar:

$$\begin{aligned} M_1 &= \rho_{10}^{(1)} \cdot V_1 = 555,447 \cdot 24890,0 = \\ &= 138250758 \text{ kq} \approx 13825,1 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= \rho_{10}^{(2)} \cdot V_2 = 554,90 \cdot 24878,1 = \\ &= 13804857,8 \text{ kq} \approx 13804,8 \text{ t} \end{aligned}$$

Beləliklə, izotermik şəraitdə boru kəmərinə təzyiqi 2,5 MPa-dan 1,0 MPa-dək salmaq üçün kəmərdən

$\Delta M = M_1 - M_2 = 13825,1 - 13804,8 = 20,3 \text{ t}$ miqdarında maye yanacağı boşaldılmalıdır.

Nəticə

Maye qaz nəql edən boru kəmərlərində temperatur amilinin statik şəraitdə təzyiqin dəyişməsinə təsirinin əhəmiyyətli dərəcədə çox olması amilinin təkcə texnoloji və təhlükəsizlik baxımdan deyil, həm də karbohidrogenlərin uçotu və itkilərinin qiymətləndirilməsi zamanı nəzərə alınması vacib və zəruridir. Temperaturun azalması və kəmərdən məhsulun götürülməsi prosesləri təzyiqin düşməsi ilə müşahidə olunduğu üçün kəmərdə buxar fazalarının yaranmaması məqsədilə hər iki halda proseslərə nəzarət olunmalı və lazım gələrsə onların tənzimlənməsi tədbirləri həyata keçirilməlidir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. **Aliyev R.A., Belousov B.D., Neludrov A.Q. i dr.** Truboprovodniy transport nefti i qaza. Uchebnik dlya vuzov. M.: Nedra, 1988. - 368 s. (*in Russian*)
2. **Axmetov R.M., Livanov Yu.V.** Dispetcherizatsiya i ucyot na nefteprovodax. M.: Nedra, 1976,351 s. (*in Russian*)
3. **Vasiliyev Q.Q. i dr.** Truboprovodniy transport nefti. M.: Nedra, 2002,361 s. (*in Russian*)
4. Spravocnik po fiziko-mexanicheskim osnovam kriogeniki. Pod redakciey Malkova M.P., M.: Energy, 1973. (*in Russian*)
5. **Ilyinskiy A.A.** Transport i xranenie promishlennix sjjennix qazov. M.: Ximiya, 1976. (*in Russian*)
6. **Polozov A.E., Jmakin V.A.** Preodelenie dvuxfaznosti techeniya transportiruemogo sjjjennoqo prirodnoqo qaza po truboprovodu. *Vestnik BQTU im. V.Q.Shuxova*, 2005, № 12, s.58-61. (*in Russian*)
7. **Zeynalov E.A., Iskenderov E.X., Ismayilov B.Q.** Ob osenkax velichin malenkix utechek nefti pri povrejdenii stoyakov podvodnix nefteqazoprovodov. Oborudovanie i texnoloqii dlya nefteqazovoqo kompleksa. VNIOENQ, Moskva, 4.2016, s.54-57. (*in Russian*)
8. **Zeynalov E.A.** Osenka velichin avariynix utechek nefti pri samotechnom oporojnenii stoyakov morskix truboprovodov. Ukraina: *Nefteqazovaya Enerqetika*, 1 (25) 2016, s. 58-60. (*in Russian*)
9. **İsmayılov Q.Q., İskəndərov E.X., İsmayılova F.B., Məlikov M.A.** Neftlərin qarışmasının və sulaşmasının donma temperaturuna təsirinin tədqiqi. // *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri*, 2019, cild 11(№2), s.52-56.
10. **İsmayılov Q.Q., Şahbazlı M.E., İsmayılov Ş.Z.** Multifazalı sualtı boru kəmərlərinin istismar səmərəliliyinin artırılmasının bəzi məsələləri // *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının xəbərləri*, cild 14, №2, 2022, s.72-80.