

Kriogen boru kəmərlərində hidravlik itkilər

X.T. Cəfərova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: kriogen boru kəmərləri, təzyiq itkisi, hərəkət rejimi, böhran temperaturu, mayeləşdirilmiş qaz.

DOI.10.37474/0365-8554/2022-03-63-65

e-mail: xedi1996@mail.ru

Гидравлические потери в криогенных трубопроводах

X.T. Джафарова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: криогенные трубопроводы, потери давления, режим движения, критическая температура, сжиженный газ.

Потеря давления в криогенных трубопроводах для случаев однофазного течения определяется известными гидравлическими формулами для обычных жидкостей. Течение двухфазного потока очень затрудняет гидравлический расчет криогенного трубопровода. Существует три основных типа криогенного течения в трубопроводах. Первый тип характеризуется достаточно равномерным распределением жидкости по проточной фазе газовой фазы (гомогенная газожидкостная смесь), второй – структурой газа и жидкости в отдельных слоях, а третий – движением жидкости по кольцевой части в стенках трубы и большей скоростью газа в ее центральной части.

В статье предлагается расчетная формула для оценки гидравлического сопротивления (потерь) для гидравлического расчета многофазных криогенных трубопроводов при отсутствии теплообмена с окружающей средой, когда потери давления связаны с силой тяжести и трением.

Hydraulic losses in cryogenic pipelines

Kh.T. Jafarova

Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: cryogenic pipelines, pressure losses, pressure regime, critical temperature, liquefied gas.

The pressure loss in cryogenic pipelines for the cases with one-phase flow is specified via known hydraulic formulas for general fluids. The stream of two-phase flow causes troubles for hydraulic calculation of cryogenic pipeline. There are three main types of cryogenic flow in the pipelines. First type is characterized with quite equal distribution of liquid throughout stream phase of gas (homogenous gas-liquid mixture), second type – with the structure of gas and fluid in separate layers, and the third one – with the motion of fluid in the ring part of pipe walls and high speed of gas in its central part.

The paper offers a calculation formula for the estimation of hydraulic resistance (losses) for hydraulic calculation of multi-phase cryogenic pipelines in the presence of thermal exchange with environment when pressure losses are associated with the force of gravity and friction.

Təhlil göstərir ki, qazların maye halında istehlakçıya nəqli, bir çox hallarda onların yenidən qazlaşdırılması ilə eyni həcmərin qaz halında daşınmasından daha sərfəlidir.

Maye vəziyyətdə bütün maddələr nisbətən yüksək sıxlığa və aşağı xüsusi həcmə malikdir. Buna görə də qazların mayeləşdirilməsi onları saxlamağa hazırlamaq üçün üstünlük verilən üsuldur. La-

kin bir sıra qazlar üçün artan təzyiq və ətraf mühitin temperaturu şəraitində maye vəziyyətə keçid qeyri-mümkündür. Hər bir maddənin böhran temperaturu və ya temperaturun artması ilə maddənin qaz halına çevrilməsi temperaturu mövcuddur. Əgər böhran temperaturu qazın maye vəziyyətə keçməsi və mayeləşdirilmiş formada saxlanması üçün ətraf mühitin temperaturundan aşağı olarsa,

onda soyuma prosesindən istifadə edilməlidir. Bu zərurət bir qrup kriogen qazları qeyd etməyə imkan verir, yəni böhran temperaturu ətraf mühitin temperaturundan aşağı olan qazlar.

Bütün kriogen qazların ümumi xüsusiyyəti böhran nöqtədə aşağı temperatur və nisbətən yüksək böhran təzyiqinə malik olmasıdır.

Kriogen boru kəməri üçün ən əlverişli iş şəraiti, birləşən "qaynamayan" mayenin axması halında baş verir. Bu zaman boru kəməri böyük ötürmə qabiliyyətinə malik olur, mayenin paylayıcı şəbəkədə paylanması etibarlı şəkildə tənzimlənir və müəyyən bir məhsuldarlıqda minimum müqaviməti təmin edilir. Doyma temperaturundan aşağı soyudulmuş maye boru kəmərinə daxil olarsa, monofazlı maye axınının kriogen boru kəməri ilə ötürülməsi mümkündür [1].

Daxil olan maye, boru kəmərinin qarşısında maye nasosunda təzyiqi yüksəlsə, onda o "qaynamayan" olur. Boru kəmərinin səmərəliliyini artırmaq üçün səy göstərmək lazımdır ki, onun sonunda xaricdən istilik axını və sürtünmə enerjisinin yayılması, həmçinin təzyiq düşməsi səbəbindən ikifazlı axın meydana gəlməsin, çıxışda olan maye "qaynamayan" və ya doymuş vəziyyətdə qalsın. Bu vəziyyətdə maye axını prosesini hesablamaq üçün boru kəmərlərinin hesablanması üçün hidravlikanın məlum düsturlarından istifadə olunur.

Buxar-maye qarışığının həcmi, hətta aşağı buxar tutumlu olsa belə, mayenin həcmi ilə müqayisədə dəfələrlə artır. Buna görə də sabit kütlə axını ilə ikifazlı axının hərəkət hissəsində sürətin kvadratına mütənasib olan axının qarışdığı müqavimət kəskin artır. Nəticədə, müəyyən bir təzyiqdə boru kəmərinin ötürmə qabiliyyəti kəskin şəkildə azalır. Axın zamanı mayenin buxarlanması baş vermədiyi hallarda (adiabatik şəraitdə) kriogen boru kəmərlərində hidravlik itkilərin hesablanması müxtəlif texniki ədəbiyyatda məşhur modelə əsasən aparılır [2, 3]. Sabit en kəsikli düz boruda Δp , (N/m^2) təzyiq itkisi Darcy-Weisbach düsturu ilə müəyyən edilir

$$\Delta p = \lambda \frac{\rho w^2 l}{2 d}, \quad (1)$$

burada ρ – sıxlıq, kq/m^3 ; w – orta sürət, m/s ; l – boru kəmərinin uzunluğu, m ; d – borunun daxili diametri, m ; λ – sürtünmə əmsəlidir. Reynolds kriterisi $Re < 2300$ (laminar rejim) olarsa, λ əmsali $\lambda = 64/Re$ asılılığında müəyyən edilir. Turbulent rejim üçün, Reynolds meyarından asılı olaraq,

λ -nın hidravlik hamar sürtünmə zonası aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\lambda = 0.3164 \sqrt[4]{Re}.$$

Turbulent rejimdə hesablama apararkən boruların kəmə-kötürlüyü də nəzərə alınmalıdır. Təzyiq altında maye axınları üçün maksimum sürət $5 m/s$ -dən çox deyil (adətən $0.1-1 m/s$), boru kəmərlərində maye çəkisi ilə $-0.05-0.5 m/s$ sürəti, cazibə qüvvəsi ilə aşağı axır.

Yerli müqavimətlər olduqda (əyilmə, döngələr, sıxılma və s.) yerli təzyiq itkisi Δp_{ym} , N/m^2 , düsturla müəyyən edilir:

$$\Delta p_{ym} = \sum \xi \frac{\rho w^2}{2}, \quad (2)$$

burada ξ – yerli müqavimət əmsəlidir.

Praktikada birləşən maye axınının kriogen boru kəməri ilə hərəkətini təmin etmək olduqca çətindir, çünki istilik axını qaçılmazdır. İkifazlı axının formalaşması (bir neçə on dəfə) hidravlik müqaviməti artırır. Mayenin aşağıdan yuxarıya doğru hərəkət etməsi zamanı bir az mailliyi olan boru kəmərlərinin quraşdırılması tövsiyə olunur ki, bu da buxarın çıxarılmasını asanlaşdırır. Mayenin buxarlanmasını doyma temperaturundan aşağı soyutma və ya yüksək təzyiqdə nasosla nəql etməklə azaltmaq olar.

İkifazlı (buxar-maye) axının hərəkəti zamanı hidravlik itkilərin hesablanması birləşən axın üçün itkilərin hesablanmasından qat-qat mürəkkəbdir. Baxılan hal üçün ədəbiyyatda ətraflı hesablama proseduru təqdim edilmişdir [1, 4]. İki hal ola bilər:

– xarici mühitlə istilik mübadiləsi yoxdur (adiabatik şərait); bu vəziyyətdə basqı itkiləri ağırlıq qüvvəsi və sürtünmə ilə əlaqəli olur;

– qeyri-adiabatik şərait; bu halda axının istiləşməsi və ya soyuması onun sıxlığının və sürətinin dəyişməsinə gətirib çıxarır.

Birinci halda təzyiq itkilərini qiymətləndirmək üçün aşağıdakı tənlikdən istifadə etmək olar:

$$\left(\frac{\Delta p}{L} \right)_{q,m} = \left(\frac{\Delta p}{L} \right)_m f_m^2, \quad (3)$$

burada $(\Delta p/L)_{q,m}$ – qaz və ya buxar-maye qarışığı üçün təzyiq qradienti; $(\Delta p/L)_m$ – maye üçün təzyiq qradienti; f_m – $(X - f_m)$ koordinatlarında çəkilmiş qrafikə uyğun olaraq müəyyən edilir, X parametri isə aşağıdakı asılılıqla ifadə edilir:

$$X^2 = \left(\frac{\Delta p}{L} \right)_m \left(\frac{\Delta p}{L} \right)_q.$$

İkinci hal üçün isə aşağıdakı daha mürəkkəb tənlik təklif olunur:

$$\left(\frac{dp}{dL} \right)_{q,m} = (1-x)^{2-m} f_m^2(p, x). \quad (4)$$

Bu tənlikdə nisbət (dp/dL) o, ümumi kütlə sürəti $G_m + G_q$ olan birləşən axın zamanı təzyiq qradientidir (G_m maye və G_q qazın kütlə axını sürətləri arasındakı nisbət eyni şəkildə müəyyən edilir (f_m parametrisinin təyin olunduğu qrafik); m – hərəkət rejimini xarakterizə edir. Turbulent axın üçün $m = 0.25$ -dir.

F_m funksiyası, birinci halda olduğu kimi, X -dən asılı olaraq qrafikdən müəyyən edilir. X -in qiyməti aşağıdakı düsturla hesablanıla bilər:

$$X = \left(\frac{\rho_q}{\rho_m} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\mu_m}{\mu_q} \right)^{\frac{m}{2}} \left(\frac{1}{x} - 1 \right)^{\frac{2-m}{2}}, \quad (5)$$

burada $\rho_q, \rho_m, \mu_m, \mu_q$ – müvafiq olaraq qaz və maye fazalarının sıxlığı və özlülükləridir.

Onda ümumi təzyiq itkisi aşağıdakı kimi hesablanır

$$\Delta p = \Delta p_{rm} + \Delta p_m$$

burada Δp_m – buxar fazasının əmələ gəlməsi ilə əlaqədar axın sürətinin artması ilə impulsun dəyişməsi nəticəsində baş verən itkidir, Δp_m dəyəri aşağıdakı ifadədən hesablanır:

$$\Delta p_m = \frac{(G_m + G_q)^2}{\rho_m F^2 g} \times \left[\frac{(1-x_{cix})^2}{R_{m,cix}} + \frac{x_{cix}}{R_{q,cix}} \frac{\rho_m}{\rho_q} - 1 \right], \quad (6)$$

burada F – borunun en kəsiyinin sahəsi, m^2 ; $R_{m,cix}, R_{q,cix} - X = X_{cix}$ -da təyin olunan kəmiyyətlərdir.

Nəticə

Temperaturu ətraf mühitin temperaturundan aşağı olan kriogen qazlar üçün boru kəmərinin işinin səmərəliliyini artırmaq məqsədi ilə sonda (çıxışda) mayenin doymuş qalmasını təmin etməyə çalışmaq lazımdır. İkifazlı axının formalaşması hidravlik müqaviməti əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Axın zamanı buxarlanmanın baş verdiyi hallarda kriogen boru kəmərlərində təzyiq itkilərini hesablamaq üçün analitik ifadələr təklif olunmuşdur.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Ильинский А.А. Транспорт и хранение промышленных сжиженных газов. – М.: Химия, 1976.
2. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа. – М.: Недра, 1988, с.
3. Ишмухаметов И.Т., Исаев С.Л., Лурье М.В., Макаров С.П. Трубопроводный транспорт нефтепродуктов // Нефть и газ, 1999, 300 с.
4. Полозов А.Е., Жмакин В.А. Преодоление двухфазности течения транспортируемого сжиженного природного газа по трубопроводу // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005, № 12, с. 58-61.

References

1. Il'inskiy A.A. Transport i khraneniye promyshlennykh snizhennykh gazov. – M.: Khimiya, 1976, s.
2. Aliyev R.A., Belousov V.D., Nemudrov A.G. i dr. Truboprovodniy transport nefi i gaza. – M.: Nedra, 1988, s.
3. Ishmukhametov I.T., Isayev S.L., Lur'ye M.V., Makarov S.P. Truboprovodniy transport nefteproduktov // Neft' i gaz, 1999, 300 s.
4. Polozov A.E., Zhmakin V.A. Preodoleniye dvukhfaznosti techeniya transportiruемого snizhennogo prirodnogo gaza po truboprovodu // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova, 2005, No 12, s. 58-61.