

Yüksəktəzyiqli texnoloji polad boru kəmərlərinin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablanması metodu barədə

A.R. Nağızadə

"Neftqazelmədqatlayihə" İnstitutu

e-mail: Nagizadeanar26@gmail.com

Açar sözlər: texnoloji boru kəməri, möhkəmlik, dayanıqlıq, gərginlik konsentrasiyası, müvəqqəti müqavimət, axma həddi, buraxılabilən qalınlıq, buraxılabilən gərginlik.

DOI.10.37474/0365-8554/2023-09-30-34

О методике расчета прочности и долговечности стальных технологических трубопроводов высокого давления

A.R. Nagizade
НИПИнефтегаз

Ключевые слова: технологический трубопровод, прочность, устойчивость, концентрация напряжений, временное сопротивление, предел текучести, допустимая толщина, допускаемое напряжение.

Приведены сведения о методике расчета прочности и устойчивости трубопровода, работающего в условиях высоких давлений и температур, с учетом рабочего давления. Толщина стенки выбранного элемента линейного сечения определялась в соответствии с маркой стали, исходя из изначально заданных сопротивлений. Также с использованием современного программного обеспечения построена конструктивная модель трубопровода и рассчитана его прочностная стойкость от действия заданных нагрузок. По результатам анализа может быть определен факт пригодности или непригодности трубопровода.

About the method of calculation of strength and durability of steel technological pipelines of high pressure

A.R. Nagizade
OGPI "Oil&gas"

Keywords: technological pipeline, strength, stability, stress concentration, temporary resistance, yield strength, allowable thickness, allowable stress.

The article provides information on the methodology for calculating the strength and stability of a pipeline operating under conditions of high pressures and temperatures, taking into account the working pressure. According to the steel grade, the wall thickness of the selected linear section element was determined based on the initially specified resistances. Also, using modern software, a constructive model of the pipeline was built and its strength resistance from the action of specified loads was calculated. According to the results of the analysis, the suitability or unsuitability of the pipeline can be determined.

Məlumdur ki, magistral və texnoloji boru kəmərləri ilə nəql olunan məhsulun təhlükəsiz istismarının təminatı mümkünlüyü dedikdə qüsurların vaxtında diaqnostikası və aradan qaldırılması başa düşülür [1].

İstismar prosesində texnoloji boru kəmərləri daşıyan məhsulun təzyiqi (10 MPa-ya qədər) və temperaturunun (-253 °C-dən + 700 °C-ya qədər və daha artıq) təsiri altında bir sıra yüklərə məruz qalır. Bunlara boruların izolyasiya örtüklərinin çəkisi, istiliyin təsirindən yaranan deformasiyalar, küləyin yükü, kəmərdə yaranan titrəmələri və s. aid etmək olar [2]. Həmçinin, texnoloji boru

kəmərləri, yerləşdiyi mühitdən asılı olaraq, korroziyaya məruz qalır, vaxtaşırı soyudulur və qızdırılır. Bu amillərin təsiri boru kəmərinin divar qalınlıqlarında itkilərin, qaynaq birləşmələrində qüsurların əmələ gəlməsinə gətirib çıxarır. Qüsurların mövcud standartların tələblərinə uyğun olaraq müəmmədi yoxlanılmaması, kəmərin istismar müddətinin azalmasına, hətta istismarın dayanmasına gətirib çıxara bilər. Çünki hər hansı bir yükün təsiri nəticəsində uzun müddət istismarda olan kəmərin qəzalı vəziyyətə düşməsi qaçılmazdır. Göstərilən bu problemlərin həlli üçün təcrübədə bir sıra metodlar tətbiq edilməkdədir [3].

İşin məqsədi. Bildiyimiz kimi, boru kəmərinin möhkəmlik və dayanıqlığı kəmərin quraşdırılması və sınağı mərhələsində təmin olunmalıdır. Boru kəmərlərinin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablanması dedikdə, təşkiləddici kəmə elementlərinin (xətti hissə, dirsək, keçid, üçlük və s.) divar qalınlıqlarının təyin edilməsi, bir sıra yüklərin təsirdən elementlərdə yaranan gərginlik əmsalının müəyyən olunması və dayanıqlığın qiymətləndirilməsi üçün hesablamaların aparılması başa düşülür.

Hesablamalar nəticəsində təcili qaydada kəmərin istismarının dayandırılması, təmir müddətinin təyin olunması və aparılması, kəmərdə olan işçi təzyiqin qiymətinin hesablamalar nəticəsində təyin edilən qiymətə qədər azaldılması, qüsurların diaqnostikası üsulunun seçilməsi və növbəti yoxlamanın təyin edilməsi kimi məsələlər müəyyən olunur.

Məsələnin qoyuluşu. Təklif edilən metod, maye və qaz halında olan maddələrin daşınması üçün nəzərdə tutulan, diametri $D = 1400$ mm, təzyiqi isə $p = 10$ MPa qədər olan texnoloji boru kəmərlərinin möhkəmliyinin hesablanması üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Boru kəməri elementlərinin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesabı üçün buraxılabilən gərginlik aşağıdakı düsturla müəyyən olunur [4]:

Cədvəl 1

Nəql olunan məhsul	Materiala görə etibarlıq əmsali			
	I, II	III, IV	V	
Qaz və mayələşdirilmiş qaz məhsulları	1.25	1.15	1.10	
Qazlardan başqa digər məhsullar	1.15	1.05	1.00	

Cədvəl 2

Boru kəmərinin təyinatı	Boru kəmərinin çəkilərkən kateqoriyası	
	Yeraltı	Ver səthindən yuxarı və yerüstü
Təbii qazı nəql etmək üçün: - diametri 1200 mm-dən az olan, - diametri 1200 mm və daha artıq olan	IV III	III III
Neft və neft məhsullarını nəql etmək üçün: - diametri 700 mm-dən az olan, - diametri 700 mm və daha artıq olan	IV III	III III

$$[\sigma] = \min \left[\frac{R_c; R_{p0.2}}{n_t}, \frac{R_m}{n_b} \right],$$

burada $R_c, R_{p0.2}$ – hesablama aparılan temperaturda

Poladın markası	Hesabi temperatur, $t, ^\circ\text{C}$	Temperatur əmsali, A_t
Ст3 – по ДСТУ 2651-94; 10, 20, 25 по ГОСТ 1050-74; 09Г2С, 10Г2С1, 15ГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С по ГОСТ 19282-73	200-ə qədər	1
	250	0.90
	300	0.75
	350	0.66
	400	0.52
	420	0.45
	430	0.38
12Х1МФ, 15Х1М1Ф – по ГОСТ 20072-74	200-ə qədər	1
	320	0.90
	450	0.75

axıcılıq həddinin minimal qiyməti, MPa; R_m – hesablama aparılan temperaturda müvəqqəti müqavimət, MPa; n_t, n_b – məhsuldarlıq üçün və müvəqqəti müqavimətdə təhlükəsizlik əmsallarıdır.

Təhlükəsizlik əmsalları aşağıdakı düsturlarla təyin olunur:

$$n_t = 1.3 \gamma,$$

$$n_b = 2.1 \gamma,$$

burada γ – boru kəmərinin kateqoriyasından asılı olaraq etibarlıq əmsalıdır.

Boru kəmərinin yerləşdiyi ərazinin uyğun gələn kateqoriyaya əsasən təyin olunmuş etibarlıq əmsalının qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir [5].

Boru kəmərlərinin kateqoriyaları cədvəl 2-də verilmişdir.

Verilən düstura əsasən müəyyən edilən buraxılabilən gərginlik həddinin qiyməti $t = 200$ °C-ya qədər dəyişməz qalır. Boru materialının markasından asılı olaraq, $t = 200$ °C-dən yüksək temperaturda əlavə olaraq temperatur əmsali (A_t) nəzərə alınmalıdır:

$$[\sigma] = [\sigma]_{20} A_t,$$

Cədvəl 3-də poladın markasına uyğun temperatur əmsalları verilmişdir.

Qaynaq birləşməsinin möhkəmlik əmsalının təyini. Temperatur $t = 510$ °C-ya qədər olan xrom-molibden-vanadium tərkibli (12X1MФ, 15X1MФ və s.), yüksəkxromlu və digər bütün növ poladdan hazırlanmış boru kəmərinin qaynaq birləşmələrinin möhkəmlik əmsali (ϕ) 100 % nəzərdə keçirilmiş elementlər üçün $\phi = 1$ qəbul olunur.

Hesablanmış divar qalınlığına əlavə olunan C korroziya əmsali aşağıdakı kimi təyin edilir [6-8]:

$$C = \pi + C_w,$$

burada π – korroziyaya uğrama dərəcəsi, mm/il;

τ – kəmərin istismar müddəti, il; C_u – aşınma əmsalidir.

Təzyiq altında boru kəmərinin möhkəmliyə hesabı. İstismarda olan neft, neft məhsulları, qaz xətlərinin möhkəmliyi və dayanıqlığını təmin etmək məqsədi ilə müvafiq hesablamalar aparılır. Bu hesablamalar qüvvədə olan normativ sənədlərin tələbinə uyğun olaraq aparılır. Boru kəmərinin xətti hissəsinin divar elementinin hesabı qalınlığı aşağıdakı düsturla təyin olunur [9]:

$$S_p = \frac{pD}{2\phi[\sigma]_{20} A_1 + p}$$

burada D – xarici diametr, mm; p – işçi təzyiqdir, MPa.

Boru xəttinin texniki vəziyyətinin təyini. Məsələn, "Azərikimya" İB-nin "Etilen-Polietilen" Zavodunda yerləşən müxtəlif diametrlə boru xətlərinin cari vəziyyətini araşdırmaq məqsədilə texniki diaqnostika və vizual müayinə işləri aparılmışdır.

Tədqiqat işləri normativ sənədlərin tələblərinə müvafiq olaraq, müxtəlif diametrlə qaz boru xətlərinin gələcək istismar müddətində yararlığını və təhlükəsiz istismar mümkünlüyünü qiymətləndirmək məqsədilə, boru xətlərinin və separatorların zəruri hissələrində, Olympus 27MG və DMSE markalı ultrasəs prinsipli qalınlıqölçən cihaz vasitəsilə instrumental ölçü-tədqiqat işləri yerinə yetirilmişdir. Zavodda istismarda olan müxtəlif diametrlə (piroqaz, piroplen, etan və etilen nəql edən) qaz boru xətlərində ölçmə işləri bir qayda olaraq, boru xəttinin (boru xətlərinin əksəriyyəti izolyasiyalı olduğundan, işlər izolyasiyası açılmış hissələrdə aparılır) qaynaq tikişləri ətrafında və daha çox korroziyaya məruz qalmış hissələrində aparılmışdır.

Məsələnin həlli. Tədqiqat olunmuş boru xəttinin təhlükəsiz istismar ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi (onlarda müşahidə olunmuş səthi qüsurlar və çatışmazlıqlar nəzərə alınmaqla) birbaşa ölçmələr nəticəsində müəyyən edilmişdir. Faktiki minimal en kəsik qalınlıqları isə daxili təzyiq altında möhkəmliyə hesablamaların nəticələrinə əsasən aparılmışdır.

ST-702 tipli turbinin giriş xəttində işçi təzyiq $p = 10$ MPa, xarici diametri $D = 219$ mm və daxilində $t = 507^\circ\text{C}$ temperatur olan, 15X1M1Φ markalı poladdan hazırlanmış boru kəmərinin müxtəlif hissələrində ölçü – tədqiqat işləri aparılmışdır.

Xətti hissə – 24.45; 24.54; 24.48; 24.59; 24.56; 24.50; 24.43.

Kəmərin en kəsiyinin yuxarıda verilmiş şərtlər daxilində tələb olunan minimal qalınlığı (15X1M1Φ markalı poladın axıcılıq həddi və müvafiq müqaviməti TY 14-3P-55-2001 normativ sənədindən götürülmüşdür) təyin edilmişdir:

$$[\sigma]_{20} = \min \left[\frac{R_{\sigma} \cdot R_{p0.2}}{n_1}, \frac{R_m}{n_2} \right] =$$

$$= \min \left[\frac{314}{1.495}, \frac{490}{2.415} \right] =$$

$$= \min [210.03; 202.9] = 202.9 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = [\sigma]_{20} A_1 = 202.9 \cdot 0.75 = 152.18 \text{ MPa}$$

$$S_p = \frac{pD}{2\phi[\sigma]_{20} A_1 + p} =$$

$$= \frac{10 \cdot 273}{2 \cdot 152.18 + 10} = 8.68 \text{ mm.}$$

Ölçü-tədqiqat işi aparılan kəmərin 40 il istismarda olduğu nəzərə alınb, korroziya əmsalı təyin olunmuşdur:

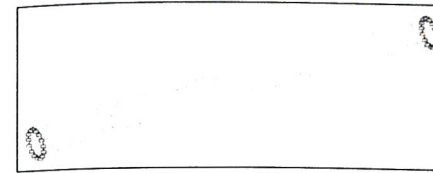
$$C = \pi + C_u = 0.1 \cdot 40 + 0 = 4;$$

$$S = S_p + C = 8.68 + 4 = 12.68 \text{ mm.}$$

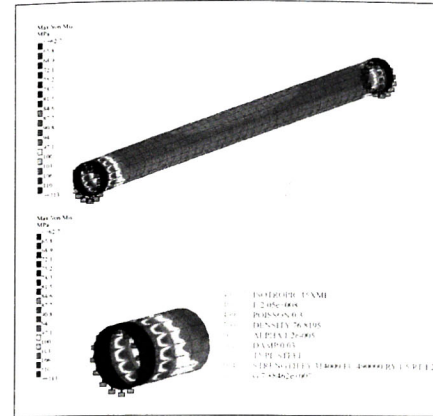
"Azərikimya" İB-nin "Etilen-Polietilen" Zavodunda yerləşən ST-702 tipli turbinin giriş xəttinin diaqnostikası zamanı, "Olympus 27-MG" markalı ultrasəs prinsipli qalınlıqölçən cihaz vasitəsilə instrumental ölçmə işləri aparılmışdır. Əldə olunan faktiki məlumatlar əsasında boru xəttinin maksimal işçi təzyiqə əsasən minimal buraxılabilən qalınlığı hesablanmış, ölçü işləri aparılaraq təyin olunan faktiki minimal qalınlıqla ($24.43 > 12.68$) müqayisə edilmişdir. Beləliklə, ölçü işləri aparılan kəmərin xətti hissəsinin istismara yararlı olduğu fakti öyrənilmişdir.

Konstruktiv modelin qurulması. "STAAD Pro" proqramı – 1997-ci ildə Yorba Linda, Kaliforniyada Research Engineers International (REL) tərəfindən hazırlanmış struktur analiz və dizayn kompüter proqramıdır. Bugün həmin proqram inşaat mühəndisləri tərəfindən bütün dünyada binalar, körpülər, neft-qaz qurğuları və s. kimi strukturların təhlili və layihələndirilməsi üçün geniş istifadə olunan proqram təminatından biridir. "STAAD Pro" həmçinin struktur mühəndislərinə işlərini avtomatlaşdırmağa da imkan verir [10].

Bu proqram vasitəsilə kəmərin möhkəmlik və dayanıqlığı hesablanması aparılmışdır. $D = 273$ mm texnoloji boru kəmərinin modelləşdirilməsi sadə sxemi şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. Konstruktiv model



Şəkil 2. Boru kəmərinin xətti hissəsində yaranan gərginlik konsentrasiyasının paylanması

Gərginlik-konsentrasiya zonasının təyini. Gərginlik konsentrasişiyaları kəmərin səthində və yaxud daxilində gərginlik axınının kəsilməsi ilə yaranır. Buna kəmərdə əmələ gələn qüsurlar səbəb olur.

Kəmərdə tətbiq olunan yüklərin təsirindən boru yaranan gərginlik konsentrasişiyasının paylanması şəkil 2-də göstərilir.

Kəmərin konstruktiv modeli metal çəkisi, kəmərdə olan işçi təzyiq və temperatur nəzərə alınaraq "STAAD Pro" proqram təminatında modeləşdirilmişdir.

Gərginlik konsentrasişiyası hər hansı bir konsentrasişiyanın istismara yararlı və yaxud yararsız olduğunu müəyyən etmək üçün meyardır. Alınan gərginlik konsentrasişiyası üç əsas gərginliyi ekvi-

valent gərginliyə gətirmək üçün hesablanır, materialın axma həddi ilə müqayisə olunaraq konstruktiv vaxtın vəziyyəti qiymətləndirilir.

ST-702 tipli turbinin yüksək təzyiqli giriş boru xəttinin xətti hissə elementi yoxlanılmışdır. Xətti hissə elementinin hər iki tərəfinə sət da-yaqlar verilərək, analiz aparılmışdır. Analizin nəticəsindən göründüyü kimi, sət dayaqlar verilən hissədə alınan moment böyük olduğu üçün həmin hissələrdə yaranan gərginlik də maksimum alınmışdır.

Gərginlik - konsentrasiya zonasının maksimal qiyməti (113 MPa), 15X1M1Φ markalı poladın temperatur əmsalı nəzərə alınaraq hesablanan buraxılabilən gərginliyi ilə müqayisəli təhlili aparılmışdır.

Nəticə

1. "Azərikimya" İB-nin "Etilen – Polietilen" Zavodunda yerləşən ST-702 tipli turbinin yüksək təzyiq və temperaturlu giriş boru xəttində "Olympus 27MG" markalı, ultrasəs prinsipli qalınlıqölçən cihazı ilə texniki müayinə işləri aparılmışdır. Diaqnostika işləri zamanı boru kəmərinin xətti hissəsinin faktiki minimal divar qalınlığının 24.43 mm olduğu müəyyən edilmişdir.

2. Boru kəmərinin xətti hissə elementinin riya-zi hesablamaları aparılaraq buraxılabilən qalınlı-ğın 12.68 mm olduğu müəyyən edilmişdir. Alınan nəticə ilə (12.68) faktiki qalınlıq (24.43) müqayisə olunaraq boru kəmərinin xətti hissə elemen-tinin istismara yararlı olduğu qənaətinə gəlinmiş-dir.

3. Təklif olunan proqram təminatı vasitəsilə kəmərin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesablamaları aparılmış, kəmərin metal çəkisi, işçi təzyiq və temperaturu nəzərə alınmaqla, təhlil edilmişdir. Təhlil əsasında, borularda yaranan konsentrik zo-nada gərginliyin maksimal qiyməti (113 MPa) və kəmərin temperatur əmsalı nəzərə alınaraq, təyin olunan buraxılabilən gərginlik həddindən (152.18 MPa) kiçik olduğu üçün, onun istismara yararlılığı müəyyən edilmişdir.

1. Mirzayev O.H. Neft-qaz mədən avadanlıqlarının texniki diagnostikasının əsasları. – Bakı, 2012, 155 s.
2. СП 34-116-97. Инструкция по проектированию, строительству и реконструкции промысловых нефтегазовых трубопроводов, Москва, 1998, 141 с.
3. РФ 51-31323949-42-99. По оценке работоспособности дефектных участков газопроводов, Москва, 1998, 39 с.
4. Методические указания к расчету на прочность технологических стальных трубопроводов на PN до 10 МПа, Северодонецк, 2009, 112 с.
5. СНиП II-45-75. Магистральные трубопроводы, Москва, 1975, 71 с.
6. ГОСТ 8731-74. Трубы стальные бесшовные горячеделированные. Технические требования, Москва, 1976, 10 с.
7. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. Москва, 2011, 99 с.
8. Flare Details for Petroleum petrochemical and Natural Gas Industries. API. American Petroleum Institute, 2020.
9. ASME Code for Pressure Piping, B31. Process Piping. The American Society of Mechanical Engineers, 2016, pp. 129-130.
10. Stress Concentration Factors of Longitudinal and Transverse Plain Dents on Steel Pipelines. OMAE 2008-57836, pp. 3-6.

References

1. Mirzayev O.H. Neft-qaz meden avadanliglarinin texniki diagnostikasinin esaslary. – Bakı, 2012, 155 s.
2. SP34-116-97. Instruksiya po proyektirovaniyu, stroitel'stvu i rekonstruktsii promyslovykh neftegazoprovodov, Moskva, 1998, 141 s.
3. RF 51-31323949-42-99. Po otsenke rabotosposobnosti defektnykh uchastkov gasoprovodov, Moskva, 1998, 39 s.
4. Metodicheskie ukazaniya k raschyotu na prochnost' tekhnologicheskikh stal'nykh truboprovodov na PN do 10 MPa, Severodonetsk, 2009, 112 s.
5. SNiP II-45-75. Magistral'nye truboprovody, Moskva, 1975, 71 s.
6. GOST 8731-74. Truby stal'nye besshovnye goryachedeformirovannye. Tekhnicheskie trebovaniya, Moskva, 1976, 10 s.
7. SNiP 2.05.06-85. Magistral'nye truboprovody. Moskva, 2012, 99 s.
8. Flare Details for Petroleum petrochemical and Natural Gas Industries. API. American Petroleum Institute, 2020.
9. ASME Code for Pressure Piping, B31. Process Piping. The American Society of Mechanical Engineers, 2016, pp. 129-130.
10. Stress Concentration Factors of Longitudinal and Transverse Plain Dents on Steel Pipelines. OMAE 2008-57836, pp. 3-6.