

Calculation of Structural Reliability of Main Gas Pipelines Using Modern Software Application

A.R. Nagizade¹, F.B. Ismayilova²

¹ Oil and Gas Projects Institute, SOCAR (H. Zardabi küç, 88A, Baku, AZ1122, Azerbaijan)

² Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Ismayilova Fidan / e-mail: fidan.ismayilova.2014@mail.ru

Abstract

In the article, the issue of pipeline thickness calculation with methods based on modern technologies is considered. According to the coefficient of working conditions of the pipeline, the calculated resistance to tension (compression) is determined and the thickness of the pipe is calculated based on the obtained result. Also, as a result of the calculation of the pipe elements, the stress-deformation state is analyzed along the surface of the pipeline where the technical inspection is carried out. During the calculations, both the analytical method and modern software are used. A three-dimensional spatial model of the pipeline is built through the software, and a report on the strength and stability of the pipeline under the influence of a number of forces is conducted. Also, as a result of the technical diagnostics of the pipeline, the possibility of future operation of the pipe element is determined.

Keywords: main gas pipeline, strength, stability, stress-strain, calculated resistance, temporary resistance, yield strength, reliability coefficient, allowable stress.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_03_59_65

Received 06.02.2023

Revised 19.09.2023

Accepted 20.09.2023

For citation:

Nagizade A.R., Ismayilova F.B.

[Calculation of Structural Reliability of Main Gas Pipelines Using Modern Software Application]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 59-65 (in Azerbaijani)

Magistral qaz kəmərlərinin konstruktiv etibarlılığının müasir proqram təminatı vasitəsilə hesablanması

A.R. Nağızadə¹, F.B. İsmayılova²

¹“Neftqazəlmətdiqatlayihə” İnstitutu, SOCAR (Həsən bəy Zərdabi, 88A, Bakı, AZ1122, Azərbaycan)

² Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Yazışma üçün: İsmayılova Fidan / e-mail: fidan.ismayilova.2014@mail.ru

Xülasə

Məqalədə müasir texnologiyalara əsaslanan üsullar ilə boru kəmərinin qalınlığının hesablanması məsələsinə baxılmışdır. Boru kəmərinin iş şəraiti əmsalına uyğun olaraq dartılmaya (sıxılmaya) hesabi müqaviməti təyin olunmuş və alınan nəticə əsasında borunun qalınlığı hesablanmışdır. Eləcə də, boru elementlərinin hesablanması nəticəsində kəmərin texniki müayinə aparılmış səthi boyunca gərginlik-deformasiya vəziyyəti təhlil olunmuşdur. Hesablamalar zamanı həm analitik üsuldən, həm də müasir proqram təminatından istifadə olunmuşdur. Proqram təminatı vasitəsilə boru kəmərinin üçölçülü fəza modeli qurulmuş və bir sıra qüvvələrin təsirindən kəmərin möhkəmliyə və dayanıqlığa hesabı aparılmışdır. Həmçinin, boru kəmərinin texniki diaqnostikası nəticəsində boru elementinin gələcəkdə istismarının mümkünlüyü müəyyən olunmuşdur.

Açar sözlər: magistrallıq qaz kəməri, möhkəmlik, dayanıqlıq, gərginlik-deformasiya, hesabi müqavimət, müvəqqəti müqavimət, axma həddi, etibarlıq əmsalı, buraxılabilən gərginlik.

DOI 10.52171/2076-0515_2023_15_03_59_65

УДК 621.681

Расчет конструктивной надежности магистральных газопроводов с использованием современного программного обеспечения

A.P. Нагизаде¹, Ф.Б. Исмаилов²

¹ Проектный институт нефти и газа, SOCAR (ул. Гасан бека Зардаби, 88А, Баку, AZ1122, Азербайджан)

² Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азатлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Для переписки: Исмаилов Фидан / e-mail: fidan.ismayilova.2014@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос расчета толщины трубопровода методами, основанными на современных технологиях. Сопротивление трубопровода растяжению (сжатию) определяли по коэффициенту условий работы и по результату рассчитывали толщину трубы. В результате расчета также было определено напряженно-деформационное состояние вдоль поверхности трубопровода. При расчетах использовались как аналитические методы, так и современное программное обеспечение. С помощью программного обеспечения построена трехмерная пространственная модель трубопровода и проведен отчет о прочности и устойчивости трубопровода под действием ряда сил. Также в результате технической диагностики трубопровода определена возможность дальнейшей эксплуатации элемента трубы.

Ключевые слова: магистральный газопровод, прочность, устойчивость, напряженно-деформированное состояние, расчетное сопротивление, временное сопротивление, предел текучести, коэффициент надежности, допускаемое напряжение.

Giriş

İstismarda olan boru kəmərlərinin gələcəkdə istismarının mümkünlüyü – neft-qaz sənayesinin ən vacib məsələlərindən biridir. Məhz bu səbəbdən, boru kəmərlərinin texniki vəziyyətinin vaxtaşırı müayinə (diaqnostika) edilməsi zəruridir. İstismar dövründə baş verə biləcək qalınlıq itkilərini nəzərə alaraq, boru kəmərlərində aparılan texniki diaqnostika işləri bir sıra mərhələdə aparılır [1]: Hazırlıq işləri; Texniki inspeksiya; Diaqnostika; Kəmərin mövcud texniki vəziyyəti və gələcək istismar mümkünlüyü haqqında yekun aktın tərtibi.

Bildiyimiz kimi, neft-qaz mədən qurğuları istismar edilən vaxtdan etibarən bir sıra xarici və daxili amillərin təsirlərinə məruz qalır. İstismar müddəti dövründə bu təsirlər kəmərin müxtəlif elementlərində, əsasən də boru divarının qalınlığında itkilərin yaranmasına gətirib çıxarır [2]. Kəmərin müxtəlif təşkilətilərini (xətti hissə, dirsək, keçid və s.) əlaqələndiyi qaynaq elementlərində yaranan qüsurlar kəmərin istismar müddətinin azalmasına, hətta dayanmasına da səbəb ola bilər. Bütün bu kimi təsirləri nəzarətdə saxlamaq üçün vaxtaşırı boru kəmərlərinin diaqnostik müayinəsinin aparılması vacibdir [3]. Əgər boru kəmərləri mövcud standartların tələblərinə uyğun olaraq mütəmadi yoxlanılmazsa, hər hansı yükün təsirindən kəmərin qəzalılıq vəziyyətə düşməsi və mürəkkəbləşmələrin baş verməsi qaçılmazdır. Hal-hazırda göstərilən problemin həlli üçün praktikada bir sıra metodlar tətbiq edilməkdədir. Konstruktiv etibarlılığın artırılması kəmərdə aparılan texniki müayinə işləri nəticəsində əldə olunur. Aparılan diaqnostika işləri bir sıra statik və dinamik yüklərin təsirindən kəmərdə baş verə biləcək potensial təhlükələrin aşkar olunmasında mühüm rol oynayır. Diaqnostik işlərin görülməsində məqsəd – neft-qaz kəmərlərinin gələcək istismar müm-

künlüyünün müəyyən olunmasıdır. Məhz bu səbəbdən, kəmərin istismarı zamanı boru kəmərlərinin konstruktiv etibarlılığının hesablanması məsələsi böyük aktualıq kəsb edir.

İşin məqsədi

Tədqiqatın məqsədi – görülmə diaqnostik işlər nəticəsində boru kəmərinin müxtəlif elementlərinin qalıq istismar resurlarının təyini. Tədqiqatlarda “STAAD.Pro” proqram təminatı vasitəsilə proses modelləşdirilmiş, riyazi hesablamalar nəticəsində qaz kəmərinin divarının qalınlığı təyin olunmuşdur.

Tədqiqat olunan magistral boru kəmərinin istismar vəziyyətinin təhlili aşağıdakı ardıcılıqla aparılmışdır.

1. Boru kəmərinin dartılmaya (sıxılmaya) hesabi müqavimətinin təyini. İstismarda olan magistral boru kəmərlərində konstruktiv etibarlılığın müəyyən olunması üçün möhkəmliyə və dayanıqlılığa hesabat aparılmalıdır. Bunun üçün öncə kəmərin dartılmaya R_1^n və sıxılmaya R_2^n görə (müvəqqəti müqavimət və axma həddi) normativ müqavimətlərinin minimal qiyməti müəyyən olunur. Bu hesabi müqavimətlər göstərilən qaydada hesablanır [4]:

$$R_1 = \frac{R_1^n \cdot m}{k_1 \cdot k_e}; \quad R_2 = \frac{R_2^n \cdot m}{k_2 \cdot k_e} \quad (1)$$
$$R = \min \{R_1; R_2\}$$

Burada: R_1^n - dağılmada normativ müqavimət, MPa; k_1 qqq/sm²; R_2^n - axma həddi, MPa; k_2 qqq/sm²; m - boru xəttinin iş şəraiti əmsalı; k_1 və k_2 - materiala görə etibarlılıq əmsalı; k_e - boru xəttinin təyinatına görə etibarlılıq əmsalıdır.

Boru kəmərinin yerləşdiyi ərazinin uyğun gəldiyi kateqoriyaya əsasən təyin olunmuş iş şəraiti əmsalının qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir [5]. Materiala görə və boru xəttinin təyinatına görə etibarlılıq əmsalları, müvafiq olaraq, cədvəl 2-4-ə əsasən seçilir [6-8]:

Cədvəl 1 – Boru kəmərinin möhkəmliyə, dayanıqlığa və deformasiyaya hesablanarkən iş şəraiti əmsalı.

Table 1 – Working condition coefficient while calculating the strength, stability and deformation of the pipeline.

Boru kəməri və onun sahəsinin kateqoriyası	Boru kəmərinin möhkəmliyə, dayanıqlığa və deformasiyaya hesablanarkən iş şəraiti əmsalı, m
Daha əhəmiyyətli sahələrdə binalar daxili kompressor stansiyalar daxili, yeraltı qaz anbarlarında diametri Ø1200 mm-lik neft borularının su keçidində B	0.60
Magistral boru xətlərinin su keçidləri, dəmiryol keçidləri, avtomobil yolları, çətin keçilən bataqlıqlar, kompressor stansiyaları ilə kəsişmələr, şar buraxma və qəbuletmə məntəqələrində I və II	0.75
III	0.90
IV	0.90

Cədvəl 2 – Materiala görə etibarlıq əmsalı, k_1

Table 2 – Reliability factor by material, k_1

Borunun xarakteristikaları	Materiala görə etibarlıq əmsalı, k_1
Bütöv texnoloji tikiş xətsiz üsulla 100% nəzarətdən keçmiş yayma poladdan və termiki möhkəmləndirilmiş qaynaqlı borular	1,34
Bütöv texnoloji tikiş üzrə 2 tərəfli elektrik qövs qaynağı ilə hazırlanmış, yayılmış və döyülüb hazırlanmış tikişsiz borular	1,40
İkitərəfli elektrik qövs qaynağı ilə hazırlanmış xətsiz və ya dağdıcı olmayan 100% nəzarətdən keçirilmiş azlegirlənmiş və ya karbonlu poladdan hazırlanmış qaynaqlı borular	1,47
İkitərəfli qövs qaynağı ilə aparılmış az legirlənmiş və ya karbonlu poladdan hazırlanmış qaynaqlı borular və digər tikişsiz borular	1,55

Cədvəl 3 – Materiala görə etibarlılıq əmsalı, k_2

Table 3 – Reliability factor by material, k_2

Borunun xarakteristikaları	Materiala görə etibarlılıq əmsalı, k_2
Az karbonlu ,tikişsiz	1,10
$R_2^n/R_1^n \leq 0,8$ üzrə azkarbonlu və az legirlənmiş düz tikişli və spiralvari tikişli, qaynaqlı	1,15
$R_2^n/R_1^n > 0,8$ üzrə yüksək möhkəmlikli poladdan hazırlanmış	1,20

Cədvəl 4 – Boru xəttinin təyinatına görə etibarlılıq əmsalı, k_r

Table 4 – Reliability coefficient according to the designation of the pipeline, k_r

Borunun şərti diametri, mm	Boru xəttinin təyinatına görə etibarlılıq əmsalı, k_r			
	Qaz boru xətti üçün			Neft və neft məhsulları üçün
	$P \leq 5,4$ MPa	$5,4 < P \leq 7,4$ MPa	$7,4 < P \leq 9,8$ MPa	
500-ə qədər	1,00	1,00	1,00	1,00
600-1000	1,00	1,00	1,05	1,00
1200	1,05	1,05	1,10	1,05
1400	1,05	1,10	1,15	-

2. Boru kəmərinin divarının qalınlığının təyini. Boru xəttinin verilmiş P işçi (normativ) təzyiq altında lazımı möhkəmliyini təmin edən hesabi qalınlığı δ (mm) aşağıdakı düsturla hesablanır [9]:

$$\delta = \frac{n \cdot P \cdot D}{2(R + n \cdot P)} \quad (2)$$

Burada: P – işçi təzyiq, MPa; n – yükə görə etibarlılıq əmsalı; D – borunun xarici diametri, mm; R – polad üçün qırılmada buraxılabilən gərginlik həddidir.

3. Yeraltı magistral qaz kəmərinə texniki müayinə işlərinin aparılması. Texniki diaqnostika işlərinin aparılmasında əsas məqsəd – boru kəmərinin potensial təhlükəli hissələrini aşkar etmək, qüsurların təhlükə dərəcələrini qiymətləndirmək, təhlükəli hissələrin prioritetini müəyyən edib qabaqlayıcı təmir işləri aparmaqdan ibarətdir [10]. Mövcud texniki tapşırıq əsasında, “Astara-Qazıməmməd” yeraltı magistral qaz kəmərinin 187-ci km sahəsində layihə təzyiqi $P_{lay}=5,5$ MPa, maksimum icazə verilən işçi təzyiq isə $P_{işçi}=1,8$ MPa qəbul edilmişdir. Borunun xarici diametri $D=1220$ mm, poladın markası isə 17Г1С-Y-dur. Texniki diaqnostika zamanı qaz kəmərinə “Olympus 27-MG” markalı ultrasəs prinsipli qalınlıqölçən cihaz vasitəsilə instrumental ölçmə işləri yerinə yetirilmişdir. Tədqiqatlarda əldə olunmuş faktiki məlumatlar əsasında boru xəttində mövcud daxili təzyiqə müvafiq minimal buraxılabilən qalınlıqlar hesablanmış və faktiki minimal qalınlıqlarla müqayisə olunmuşdur. Beləliklə, instrumental ölçmələr, minimal qalınlıqlar və istismar yükləri əsasında qaz kəmərinin təhlükəsiz istismarının mümkünlüyü fakti öyrənilmişdir.

Məsələnin həlli

Tədqiq olunmuş boru xəttinin təhlükəsiz istismar ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi, on-

larda müşahidə olunmuş səthi qüsurlar və çatışmazlıqlar nəzərə alınmaqla birbaşa ölçmələr nəticəsində müəyyən edilmişdir. Faktiki minimal en kəsik qalınlıqları isə daxili təzyiq altında möhkəmliyə hesabının nəticələrinə əsasən aparılmışdır.

“Astara-Qazıməmməd” yeraltı magistral qaz kəmərinin $L=187,74$ -cü km-də açılmış şurfdə $P=1,8$ MPa təzyiq altında aparılan ölçü işləri nəticəsində kəmərin müxtəlif yerlərində divarının qalınlığı müəyyən olunmuşdur:

- üstə – 12,18; 12,24; 12,36; 12,45; 12,40; 12,58; 12,65 mm ($\delta_{orta} = 12,18$ mm).
- yanda – 11,96; 11,95; 11,80; 11,91; 11,96; 11,93; 11,98 mm ($\delta_{orta} = 11,80$ mm).
- altı – 9,85; 9,64; 9,49; 9,19; 9,25; 9,30; 9,38; 9,48 mm ($\delta_{orta} = 9,19$ mm).

Həmçinin, borunun yan və alt səthində dərinliyi $5 \div 6$ mm olan korroziya yaraları və laylı korroziya məhsulları aşkar olunmuşdur.

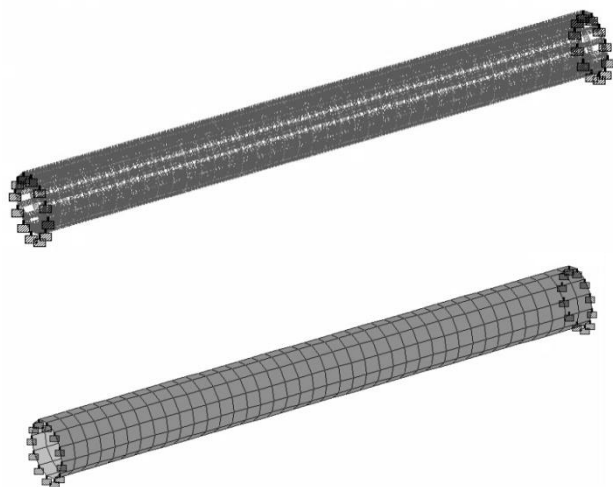
Kəmərin en kəsiyinin verilmiş şərtlər daxilində tələb olunan minimal qalınlığının hesabi qiyməti belə təyin edilmişdir:

$$\delta = \frac{n \cdot P \cdot D}{2(R + n \cdot P)} = \frac{1,1 \cdot 1,8 \cdot 1220}{2(260,87 + 1,1 \cdot 1,8)} = 4,6 \text{ mm}$$

Kəmərin alt səthində aparılan ölçü işlərində alınan nəticənin (korroziya yaraları nəzərə alınmaqla) hesabi qiymətlə müqayisəsi nəticəsində bu hissənin artıq istismara yararsız olduğu müəyyən edilmişdir.

Konstruktiv modelin yaradılması. Kəmərin möhkəmlik və dayanıqlılıq analizi standart **STAAD.Pro Connect Edition** proqram təminatı vasitəsilə yerinə yetirilmişdir [10-11].

Modelləşdirilmiş 1220 mm-lik magistral qaz kəmərinin sadə sxemi şəkil 1-də verilmişdir. “Astara-Qazıməmməd” yeraltı magistral qaz kəmərinin 187,74-cü km-də istifadə olunan metalın xüsusiyyətləri cədvəl 5-də göstərilmişdir.



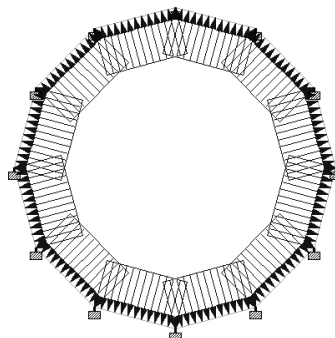
Şəkil 1 – Qaz kəmərinin sadələşdirilmiş modeli
Figure 1 – A simplified model of a gas pipeline

Cədvəl 5 – Metalın xüsusiyyətləri
Table 5 – Properties of metal

Göstəricilər	Faktiki ölçüləri
Sıxlıq, ton/m^3	7,849
Elastiklik modulu, E , kN/sm^2	20000
Sürüşmə modulu, G , kN/sm^2	7722
Puasson əmsalı	0,3
Axıcılıq həddi, F_y , kN/sm^2	24,5

Tətbiq olunan yüklərin paylanması

Tətbiq olunan riyazi modeldə, metal kütlə daxil olmaqla, kəmərdə yaranan işçi təzyiq nəzərə alınmışdır. Yüklərin paylanması sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir.

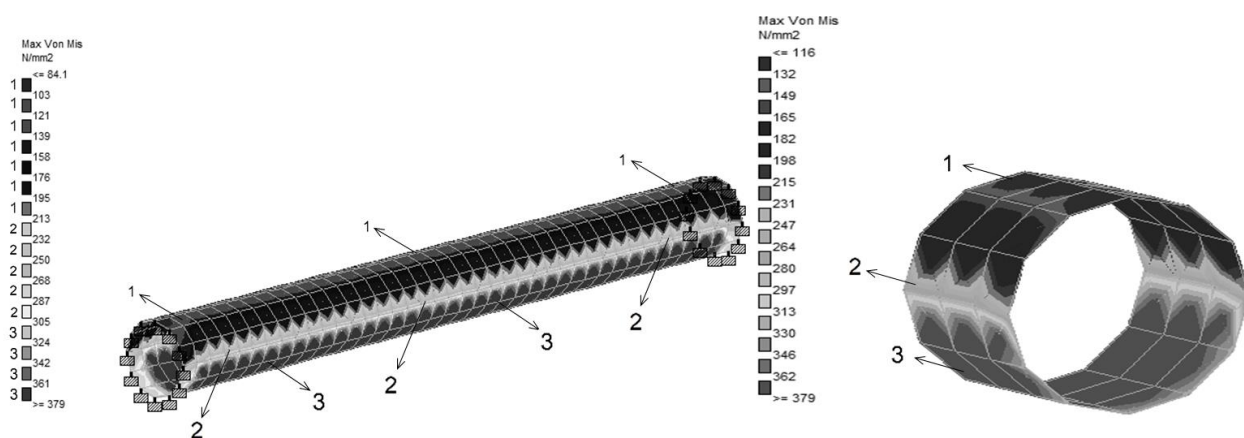


Şəkil 2 – Tətbiq olunan yüklərin kəmərin səthi boyu paylanması

Figure 2 – Distribution of applied loads along the surface of the pipeline

Gərginlik-konsentrasiya zonasının müəyyən edilməsi

Tətbiq olunmuş yük kombinasiyasının təsirindən boruda yaranan axma həddinin maksimal qiymətinin 379 MPa olduğu müəyyən edilmişdir.



Şəkil 3 – Boru kəməri elementlərində yaranan gərginlik həddinin qiymətləndirilməsi
Figure 3 – Estimation of stress limit in pipeline elements

Kəmərin konstruktiv modeli STAAD.Pro proqram təminatında modelləşdirilmiş, metal çəkisi və kəmərdə yaranan işçi təzyiq nəzərə alınaraq, təhlil olunmuşdur. Göstərilmiş diaqramda qeyd olunan rəqəmlər kəmərdə yaranan gərginliyin artması istiqamətində sıralanmışdır. Kəmərin aşağı hissəsində alınan gərginliyin axma həddinin (379 MPa) metalın fiziki xüsusiyyətlərinə uyğun gələn axma həddindən (350 MPa) böyük olması səbəbindən, kəmərdə yaranan gərginliyin buraxılabilən gərginlik həddindən böyük olduğu müəyyən edilmişdir (şəkil 3).

Nəticə

“Qaz İxrac” İdarəsinə məxsus “Astara-Qazıməmməd” yeraltı magistral qaz kəmərinin 187,74-cü km-də açılan şurfda boru kəmərinin xətti hissəsində “Olympus 27MG” markalı ultrasəs prinsipli qalınlıqölçən cihazı ilə defektoskopiya işləri aparılmışdır. Monitoring prosesində kəmərin səthində həlqəvi istiqamətdə ölçülər aparılaraq, faktiki divar qalınlıqlarının borunun üst səthində 12,18 mm, yan səthində

11,80 mm, alt səthində isə 9.19 mm olduğu müəyyən edilmişdir. Kəmərin alt səthində 5÷6 mm korroziya yaraları aşkar olunduğundan, bu hissədə qalınlığın faktiki qiymətinin 3,19 mm olduğu aşkarlanmışdır. Boru kəmərinin riyazi hesablamasından alınan hesabi qalınlığı faktiki qalınlığı ilə müqayisə olunaraq ($3,19 < 4,60$), kəmərin istismara yararsız olduğu qənaətinə gəlinmişdir. Kəmərin konstruktiv modeli STAAD.Pro proqram təminatında modelləşdirilmiş, metal çəkisi və kəmərdə yaranan işçi təzyiq nəzərə alınaraq təhlil olunmuşdur. Alınan gərginliyin axma həddinin (379 MPa) metalın fiziki xüsusiyyətlərinə uyğun gələn axma həddindən (350 MPa) böyük olması səbəbindən, kəmərdə yaranan gərginliyin buraxılabilən gərginlik həddindən böyük olduğu müəyyən edilmişdir.

Maraqlar münaqişəsi

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

REFERENCES

1. **Mirzəyev O.H.** Neft-qaz mədən avadanlıqlarının texniki diaqnostikasının əsasları. Bakı, 2012, 155 s. (*in Azerbaijani*)
2. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Tikinti Normaları – Magistral boru kəmərlərinin Layihələndirmə normaları (AzDTN 2.9-2). Bakı, 2009. (*in Azerbaijani*)
3. **Qaleyev V.B., Karpaçev M.Z., Xarlamenko V.İ.** Magistralniye nefte-produktoprovodı. Moskva, 1976, 339 c. (*in Russian*)
4. **İsmayilova F.B., İskəndərov E.X.,** Təzyiqin multifazalı neft kəmərinin buraxma qabiliyyətinə təsiri haqqında. “Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının XƏBƏRLƏRİ” Beynəlxalq elmi-texniki jurnal, cild 13, №1, Bakı 2021.s.54-57. (*in Azerbaijani*)
5. Texniçeskie usloviviya TY 14-3-1573-96. AO «UralNİTİ», 1997, 12 s. (*in Russian*)
6. **Şammazov A.M., Tuqunov P.İ., Novoselov V.F., Korşaq A.A.** Tipovye rasçetı pri proektirovanii i ekspluatatsi neftebaz i nefteprovodov. Moskva, 2002, s.103-110. (*in Russian*)
7. QOST 8731-74 Trubı stalnie besşovnie qoryaçedeformirovannıe. Moskva, 01.01.1976, 45 s. (*in Russian*)
8. SNiP 2.05.06-85 Magistralnie truboprovodı, Moskva, 2011, 46 s. (*in Russian*)
9. Flare Details for Petroleum petrochemical and Natural Gas Industries. API. American Petroleum Institute. 2020. (*in English*)
10. ASME Code for Pressure Piping, B31. Process Piping. The American Society of Mechanical Engineers. 2016. Pp 129-130. (*in English*)
11. Stress Concentration Factors of Longitudinal and Transverse Plain Dents on Steel Pipelines. OMAE 2008-57836. Pp 3-6. (*in English*)