

Mədəndaxili və magistral neft-qaz boru kəmərlər sistemlərinin daxili təzyiqa görə möhkəmlik hesablatlarında təhlükəsizlik əmsallarının analizi

F.H. Seyidli, C.N. Aslanov

"Neftin, qazın geotexnoloji problemləri və Kimya" ETİ

Açar sözlər boru xətləri, təhlükəsizlik əmsalları, möhkəmlik xarakteristikaları, hesabı gərginlik, dağıdıcı təzyiq.

DOI.10.37474/0365-8554/2023-06-07-49-59

e-mail: seyidli1989@gmail.com

Анализ коэффициентов безопасности при расчете на прочность по внутреннему давлению нефтегазовых промысловых и магистральных трубопроводных систем

Ф.Х. Сеидли, Дж.Н. Асланов

НИИ "Геотехнологические проблемы нефти, газа и Химия"

Ключевые слова: трубопроводы, коэффициенты безопасности, характеристики прочности, допускаемое напряжение, давление разрыва.

Статья посвящена анализу коэффициентов безопасности, используемых в расчетах на прочность по внутреннему давлению нефтегазопроводов. Был рассмотрен ряд национальных, региональных и международных нормативных технических документов, регламентирующих проектирование трубопроводов. Для сравнительного анализа и оценки были разработаны математические модели. В результате анализов применение коэффициента безопасности до предела текучести трубного материала было признано более приемлемым в расчетах на прочность трубопроводов. В статье сделаны предложения по выбору коэффициентов запаса в зависимости от режима эксплуатации и вида транспортируемых углеводородных продуктов. AzDTN2.2-9 является единственным нормативным документом, действующим на территории Азербайджанской Республики в этой области. Учитывая, что данный документ не соответствует современным критериям и морально устарел, было признано целесообразным разработать новый нормативно-технический документ с учетом высказанных предложений.

Analysis of safety factors in the calculation of strength by internal pressure of oil and gas field and main pipeline systems

F.H. Seyidli, J.N. Aslanov

"Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry" SRI

Keywords: pipelines, safety factors, strength characteristics, design stress, burst pressure.

The article is devoted to the analysis of the safety factors used in the calculations for the internal pressure strength of oil and gas pipelines. A number of national, regional and international normative technical documents regulating the design of pipelines were considered. The safety factors provided in these documents in the calculation of the strength of pipelines are analyzed. For a comparative estimation, mathematical models were developed. As a result of the analyzes, the use of a safety factors for the yield strength of pipe material was recognized as more acceptable in calculating the strength of pipelines. The authors give recommendations on the choice of safety factors depending on the mode of operation and the type of transported hydrocarbon products. AzDTN2.2-9 is the only regulatory document in force in the territory of the Republic of Azerbaijan in this sphere. As this document does not meet modern criteria and is morally outdated, it was considered expedient to develop a new regulatory and technical act taking into account the suggestions made.

Hazırda karbohidrogen məhsullarının mədəndaxili, magistral və paylaşdırıcı boru kəmərləri ilə nəqli sistemlərinin layihələndirilməsini tənzimləyən çoxsaylı, milli, regional və beynəlxalq səviyyəli normativ texniki sənədlər (NTS) toplusu mövcuddur. İstisnasız olaraq, bu sənədlərin hamısında boru xətlərinin möhkəmlilik hesabları nəql edilən karbohidrogen məhsullarının təsirdən yaranan daxili təzyiqlə, boru materiallarının möhkəmlilik xarakteristikası və istismar şəraitlərini nəzərə alan çoxsaylı əmsallara istinadən aparılır. Boru xətlərinin bütövlüyü və təhlükəsizliyi baxımından borudaxili təzyiqlə görə hesabət əsas kriteri hesab olunur. Bu hesabatlarda əsasən iki yanaşmadan istifadə edilir.

Bir qrup sənədlərdə materialın möhkəmlilik xarakteristikalarına nəzərən (axıcılıq və ya möhkəmlilik hədlərinə) müəyyən əmsalların və ya onların kombinasiyası (təhlükəsizlik əmsalları) vasitəsilə hesabi gərginlik müəyyənləşdirilir, layihə, işçi, sınaq və s. təzyiqlər hesablanır. Digər qrup sənədlərdə isə materialın mexaniki xarakteristikalarına əsasən boru materialında plastik axıcılıq (dağıdıcı) təzyiqləri qiymətləndirilir və buna əsasən digər təzyiqlər hesablanır. Hər iki yanaşmada materialın mexaniki xarakteristikalarına nəzərən müxtəlif əmsallar toplusundan və ya əmsallardan istifadə edilir. Bu əmsallar toplusunu və ya əmsalları, materialın mexaniki xarakteristikalarına nəzərən, müvafiq təhlükəsizlik əmsalları kimi xarakterizə etmək olar. Neft-qaz boru kəmərlər sistemlərinin layihələndirilməsini tənzimləyən çoxsaylı NTS-də borudaxili təzyiqlə görə möhkəmlilik hesablarında təhlükəsizlik əmsallarının geniş spektrli qiymətlərindən istifadə edilir. Bəzi NTS-də təhlükəsizlik əmsallarının seçilməsi prosedurlarında bir sıra qeyri-müəyyənliklər mövcuddur. Boru xətlərinin texniki və iqtisadi cəhətdən təhlükəsiz və effektiv istismar edilməsi bu təhlükəsizlik əmsallarının optimal seçimindən asılıdır. Bütün məsələlərə aşağıda ayrı-ayrı NTS-in qısa analizi zamanı aydınlaşdırılır.

Hətta eyni kriteri əsasında daxili təzyiqlə görə möhkəmlilik hesablarında istinad edilən NTS-də müxtəlif təhlükəsizlik əmsallarından istifadə edilir. Bu səbəbdən də, eyni parametrlə boru xətlərinin müxtəlif NTS-in köməyiylə daxili təzyiqlə görə möhkəmlilik hesablarında fərqli nəticələr alınır.

Tədqiqat və qiymətləndirmə metodikası
Yuxarıda qeyd edildiyi kimi boru xətlərinin daxili təzyiqlə görə möhkəmlilik hesablarında əsasən iki modeldən istifadə edilir.

1. Daxili təzyiqlə yaranan hesabi (radial) gərginliyə görə hesabat. Bu yanaşmaya görə hesabi gərginliyin hesablanması ümumi şəkildə aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\sigma_h = (p_i - p_e) \frac{D}{2t} \leq \sigma_{d(y,u)} = \text{Min}[f_{y(u)} \sigma_{y(u)}], \quad (1)$$

burada σ_h – borudaxili istismar təzyiqindən yaranan radial gərginlik, MPa; p_i – borudaxili istismar təzyiqi, MPa; p_e – boruxarici atmosfer və ya hidrostatik təzyiqlər, MPa; $\sigma_{d(y,u)}$ – ən kiçik hesabi gərginlik, MPa; $\sigma_{y(u)}$ – boru materialının normativ axıcılıq və ya möhkəmlilik hədləri, MPa; $f_{y(u)}$ – boru materialının axıcılıq və ya möhkəmlilik həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalıdır.

Daha sonra hesabi gərginliyə və borunun həndəsi ölçülərinə görə borudaxili layihə (istismar) təzyiqləri və ya boru divarının minimal qalınlığı hesablanır:

$$p_d = \frac{2\sigma_d t_d}{D}, \quad t_d = \frac{p_d D}{2\sigma_d},$$

burada p_d – layihə təzyiqi, MPa; t_d – borunun layihə təzyiqinə uyğun tələb olunan minimal qalınlıq, mm; D – borunun xarici diametri, mm.

2. Borudaxili dağıdıcı (plastik axıcılıq) təzyiqlə görə hesabat. Borunun həndəsi ölçülərinə və möhkəmlilik parametrlərinə əsasən borudaxili dağıdıcı təzyiqlər (p_b) və bu təzyiqlə görə istismar şəraitindən asılı olaraq layihə, işçi və digər təzyiqlər hesablanır:

$$p_b(t) = \text{Min}[p_{b(y,u)}(t)], \quad (2)$$

burada $p_{b(y,u)}(t)$ – materialın möhkəmlilik xarakteristikalarına görə hesablanmış dağıdıcı təzyiqlərdir. Ən kiçik dağıdıcı təzyiqlə müvafiq təhlükəsizlik əmsalları vasitəsilə layihə (istismar) və digər təzyiqlər hesablanır:

$$p_d = p_b(t) f_{y(u)},$$

burada $f_{y(u)}$ – boru materialının möhkəmlilik parametrlərinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalıdır.

Aşağıda mədəndaxili və magistral neft-qaz boru kəmərlər sistemlərinin layihələndirilməsini tənzimləyən bir neçə milli, regional və beynəlxalq səviyyəli NTS-in borudaxili təzyiqlə görə möhkəmlilik hesablarının qısa xülasəsi verilmişdir. NTS-lər istifadə edilən hesabat modellərinə görə iki qrupda birləşdirilib. I qrupa materialın möhkəmlilik parametrlərinə görə təhlükəsizlik əmsalları vasitəsilə hesabi gərginliyin hesablanması

əsaslanan NTS-lər [1–3, 5–10, 13, 14] daxildir. II qrupa isə borudaxili dağıdıcı təzyiqlə əsasən, digər təzyiqlərin hesablanması tənzimləyən NTS-lər daxildir [4, 11, 12].

I qrupa aid edilən NTS-lər
AzDTN 2.9-2 - Magistral boru kəmərləri [1]

Azərbaycan Respublikası ərazisində hüquqi qüvvədə olan yeganə sənəd kimi [1] daha ətraflı araşdırılmışdır. [1] və [2]-nin əsasında hazırlanmış nəzərə alaraq, bu sənədlər birlikdə nəzərdən keçirilmişdir. Bunlara görə borunun hesabi minimal qalınlığı və ya istismar təzyiqləri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$t_d = \frac{np_d D}{2(\sigma_{d(y,u)} + np_d)}, \quad p_d = \frac{2(\sigma_{d(y,u)} t_d)}{n(D - 2t_d)}, \quad (3)$$

Hesabi gərginlik isə boru materialının möhkəmlilik parametrlərinə nəzərən aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\sigma_{d(y,u)} = \frac{m \sigma_{y(u)}}{k_{(2,1)} k_n},$$

burada n – boru daxili təzyiqlə görə etibarlıq əmsalı, $n = 1.05-1.2$ intervalında dəyişir; m – boru kəmərinin və ya onun ayrı-ayrı hissələrinin kateqoriyasından asılı olaraq iş şəraiti əmsalı; $\sigma_{d(y,u)}$ – materialın axıcılıq və möhkəmlilik hədlərinə görə hesablanmış hesabi gərginliklər; k_1 – materiala görə etibarlıq əmsalı, boru materialından və hazırlanma texnologiyasından asılı olaraq seçilir və 1.34–1.55 intervalında dəyişir; k_2 – boru materialının möhkəmlilik parametrlərinin nisbətindən (σ_y/σ_u) asılı olan etibarlıq əmsalı, $k_2 = 1.10-1.20$; k_n – boru xəttinin təyinatına görə etibarlıq əmsalı.

(3)-ə əsasən $f_{y(u)} = m/(k_{(2,1)} k_n)$ işarələnmələri etsək, bunları boru materialının axıcılıq və möhkəmlilik hədlərinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalları kimi xarakterizə etmək olar. Bu halda boru elementləri üçün buraxıla bilən gərginliyin ümumi şəkildə [1]-dəki kimi ifadə edilməsi məntiqli olardı. Lakin bu sənədlərdə hesabi gərginliyin yalnız $\sigma_d = \sigma_u f_u$ şəklində hesablanması nəzərdə tutulur. $k_n = 1.0$ qiymətində təhlükəsizlik əmsalının (f_u), boru kəmərinin iş şəraiti (m) və materiala görə etibarlıq əmsalından (k_1) asılı olaraq dəyişməsi cədvəl 1-də verilmişdir. Göründüyü kimi, yüksəkkeyfiyyətli borulardan istifadə edilərkən ($k_1 = 1.34$ və 1.40) iş şəraitindən asılı olaraq təhlükəsizlik əmsalı 0.43–0.67 hədlərində dəyişir. Bu hesabatın davamı kimi f_u və materialın möhkəmlilik

parametrlərinin nisbəti ($k = \sigma_y/\sigma_u$) vasitəsilə boru materialının axıcılıq həddinə nəzərən hesabi gərginliyi aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

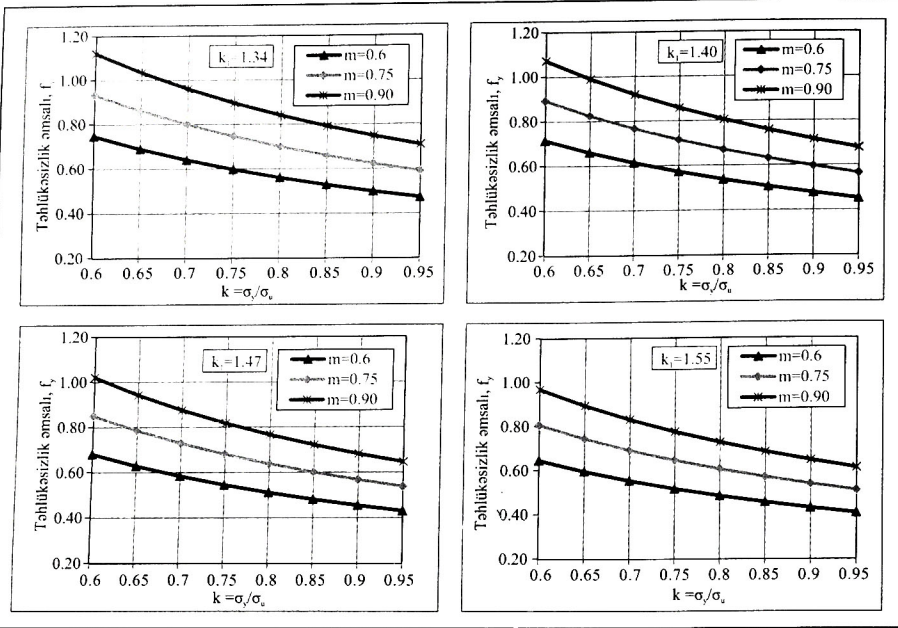
$$\sigma_{d(y)} = \sigma_y (f_u / k). \quad (4)$$

Cədvəl 1

m	k ₁			
	1.34	1.4	1.47	1.55
0.6	0.45	0.43	0.41	0.39
0.75	0.56	0.54	0.51	0.48
0.90	0.67	0.64	0.61	0.58

Bu ifadədə (f_u/k) nisbəti, boru materialının möhkəmlilik həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalı vasitəsilə hesablanmış axıcılıq həddinə görə təhlükəsizlik əmsalıdır. Materialların möhkəmlilik parametrlərinin nisbəti (k), etibarlıq (k_1) və boru xəttinin iş rejimi (m) əmsalları vasitəsi ilə materialın axıcılıq həddinə görə hesablanmış (4) hesabi təhlükəsizlik əmsallarının qiymətləri şəkil 1-də verilmişdir.

Göründüyü kimi, ağır iş rejimi şəraitində borunun növündən asılı olaraq $f_u = 0.50-0.55$, yüngül iş rejimlərində istismar edilən boru xətləri üçün isə $f_u = 0.75-0.82$ hədlərində dəyişir. Hətta azkarbonlu poladdan hazırlanmış borular üçün də ($k \leq 0.65$), f_u onların axıcılıq həddi daxilində istismarını təmin edir. Yəni bütün hallarda materialın möhkəmlilik həddinə görə hesabatlardan fərqli olaraq axıcılıq həddinə görə hesabatlarda, boru xətləri üçün $\sigma_d < \sigma_y$ şərti təmin edilir. Bu təhlillərdən belə qənaətlə gəlmək olar ki, borudaxili təzyiqlə görə hesabatların (1) şərtinin tələblərinə uyğun aparılması daha məqbul hesab edilə bilər. Təhlil göstərir ki, istismar rejimi (m), borunun keyfiyyəti (k_1) və materialından (k) asılı olaraq, materialın axıcılıq həddinə görə hesablanmış təhlükəsizlik əmsalı çox geniş intervalda dəyişir. Göründüyü kimi, materialın möhkəmlilik həddinə əsasən hesablamalar zamanı $k \leq 0.65$ qiymətlərində hesabi gərginlik çox yüksək alınır, bəzi hallarda isə $f_u \geq 1.0$ və $\sigma_d \geq \sigma_y$ alınır, yəni borudaxili təzyiqlə yaranan daxili gərginlik materialın elastiklik həddini keçir və boru plastiklik həddində yüklənməyə məruz qalır. Belə halların baş verməməsi üçün müvafiq əmsallardan düzgün istifadə edilməsi layihəçi mühəndislərdən yüksək peşəkarlıq və kvalifikasiya tələb edir. $k_n = 1.0$ və m -in müxtəlif qiymətlərində boru materialının axıcılıq həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalının $f_u = m/(k_1 k_n)$ ifadəsi ilə qiymətləndirilməsi aparılmışdır. Hesabatın nəticələri göstərməmişdir ki, ən yüngül iş rejimi şəraitində belə



Şəkil 1. Materialın axıcılıq həddinə nəzərən hesabı təhlükəsizlik əmsalının (f_y), boru materialının etibarlılığı (k), istismar şəraiti (m) əmsallarından asılı olaraq dəyişməsi

Cədvəl 2

Boru xəttinin kateqoriyası	Tərkibində H_2S birləşmələri olmayan məhsulların nəqlində		H_2S tərkibli məhsulların nəqlində, f_c		H_2S -in miqdarı	
	f_y	f_c	$k \leq 0.60$		$0.60 < k \leq 0.80$	
			k_y	a	b	H_2S -in miqdarı
H	0.72	0.63	1.250	2.000	1.250	0.65
C	0.60	0.52	1.333	2.333	1.667	0.60
B	0.50	0.43	1.400	2.600	2.000	0.50

$f_y < 1$ şərti təmin edilir və boru elastiklik həddi daxilində yüklənməyə məruz qalır.

Xüsusi qeyd: [1, 2] göstərilən məhdudyyət səbəbindən, bu sənədlərin müddəaları $p_d \geq 10$ MPa olan bütün rejimlərinə, dəniz şəraitində işə istənilən təzyiç altında istismar edilən boru xətlərinin layihələndirilməsi və istismarına şamil edilə bilməz.

2. СТО-2.1-338:2009 “Нормы проектирования промысловых трубопроводов” [3]

Bu sənəd quru şəraitində borudaxili istismar təzyiçi $p_d \leq 32$ MPa olan mədəndaxili karbohidrogen məhsullarının nəqli boru kəmərlər sistemlərinin layihələndirilməsini və istismarını tənzimləyir. Tərkibində hidrogen-sulfid (H_2S) birləşmələri olmayan və ya aşağı olan karbohidrogen məhsullarının nəqli boru kəmərlər sistemləri üçün boru və birləşdirici elementlərin divar qalınlığı və ya

layihə təzyiçi aşağıdakı kimi müəyyənləşdirilir.

Yüksəkmöhkəmlikli poladdan ($k > 0.80$) hazırlanmış boruların divar qalınlığı, boru materialının normativ axıcılıq və möhkəmlik hədlərinə görə hesablanmış qalınlıqlardan ən böyüyünə görə müəyyən edilir:

$$t_d = \max(t_{y(u)}) = \frac{p_d D}{2 f_{y(u)} \sigma_{y(u)}} \quad (5)$$

burada $t_{y(u)}$ – materialın möhkəmlik parametrlərinə görə boru divarının ən böyük qalınlığıdır.

Boru xəttinin kateqoriyası, materialın möhkəmliyi və nəql edilən karbohidrogen məhsulunun tərkibindəki H_2S -in miqdarından asılı olaraq f_y, f_u və f_c əmsalları cədvəl 2-yə uyğun seçilir.

$k \leq 0.80$ olan poladdan hazırlanmış boru xətlərinin divar qalınlığı isə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$t_d = \frac{p_d D}{2 k_y f_y \sigma_y} \quad (6)$$

burada k_y – materialın normativ möhkəmlik xarakteristikalarının nisbətindən (σ_y/σ_u) asılı olan dəqiqləşdirmə əmsalidir. Nisbətən yumşaq, $k \leq 0.60$ materiallardan hazırlanmış borular üçün k_y -nin qiyməti boru xəttinin kateqoriyasından asılı olaraq cədvəl 2-də verilmişdir. $0.60 < k \leq 0.80$ hədlərində olan materiallardan hazırlanmış borular üçün $k_y = a - b(k)$ ifadəsi ilə hesablanır. a, b əmsallarının qiymətləri də boru xəttinin kateqoriyasına əsasən müəyyənləşdirilir. H_2S tərkibli karbohidrogen məhsulların nəql edən boru xətlərində boru elementlərinin layihə divar qalınlığı isə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$t_d = \frac{p_d D}{2 f_c \sigma_y} + c, \quad (7)$$

burada c – ümumi korroziyaya əlavədir və illik korroziyanın sürəti ilə müəyyənləşir; f_c – H_2S tərkibli məhsullar nəql edən boru xətləri üçün təhlükəsizlik əmsalidir və məhsulun tərkibindəki H_2S -in parsial təzyiqdən asılı olaraq seçilir.

Qeyd: H_2S parsial təzyiçi aşağıdakı kimi təyin edilir: a) qaz mühitində $p_{H_2S} = p C_{H_2S}/100$, burada p -qazın ümumi təzyiqidir; b) C_{H_2S} – qazda H_2S həcmi və ya molda faizi; maye haldə – mayenin tərkibindəki miqdarda H_2S həll olmasına uyğun gələn təzyiç.

Nəql edilən karbohidrogen məhsullarının tərkibindəki H_2S -in miqdarından asılı olmayaraq aşağıgəligirli poladlardan ibarət boru xətlərinin daxili təzyiçə görə möhkəmlik hesabları materialın axıcılıq həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalları vasitəsi ilə aparılır. Lakin azkarbonlu poladlardan ibarət boruların hesabları materialın axıcılıq və möhkəmlik hədlərinə nəzərən hesablanmış ən böyük qalınlığa əsasən aparılır.

NTS-in hamısında [5–10, 14, 15] borudaxili təzyiçə görə möhkəmlik hesabının yalnız materialın axıcılıq həddinə görə təhlükəsizlik əmsalı vasitəsi ilə aparılmasını nəzərə alaraq, bu sənədlər birlikdə, [5]-in təmsalında təhlil edilmişdir. Buna görə, quru və dəniz şəraitində istismar edilən boru xətlərində, daxili təzyiqdən boru divarında yaranan radial gərginlik aşağıdakı şərti təmin etməlidir:

$$\sigma_h = \left(p_i - p_y \right) \frac{D}{2t} \leq \sigma_d = \sigma_y f_y f_t f_T, \quad (8)$$

burada f_t – tikişli borular üçün uzununa tikiş

əmsalidir. Karbohidrogen məhsullarının nəqli sistemlərində $f_t \geq 1$ olan borulardan istifadə olunması tövsiyə olunur. Tikişsiz borular üçün $f_t = 1$ qəbul edilir.

f_T – poladın axıcılıq həddinin temperaturdan asılılıq əmsalidir. $T \leq 120$ °C istismar olunan boru elementləri üçün $f_T = 1$ qəbul edilir.

Boru elementinin həndəsi ölçülərinə və hesabı gərginliyə görə layihə təzyiçi və ya verilmiş layihə təzyiqində borunun nominal divar qalınlığı (2) ifadəsində göstəriləndiyi kimi hesablanır.

Quru və dəniz şəraitlərində istismar edilən boru xətləri və onların ayrı-ayrı qolları üçün təhlükəsizlik əmsallarının seçilməsi qaydaları aşağıda verilmişdir [5].

Boru xətləri keçən sahələr oradakı insan məskunlaşmasının sıxlığından asılı olaraq yerləşmə siniflərinə təsnifləndirilir. Yerləşmə sinfindən asılı olaraq təhlükəsizlik əmsalları, $f_y = 0.4–0.8$ həddində dəyişir. Boru xətlərinin və onun qollarının avtomobil və dəmiryollarına paralel və kəsişən, texnoloji qurğuların yaxınlığından, körpülər üzərindən və kompressor stansiyaları (KS) və s. ərazilərindən keçən hissələri üçün əlavə olaraq təhlükəsizlik əmsallarının digər qiymətlərindən istifadə edilir (cədvəl 3). Bu hallarda 4-cü yerləşmə sinif istisna olmaqla təhlükəsizlik əmsalları baza qiymətindən başlayaraq 0.50-ə qədər azalır.

Dəniz şəraitində istismar edilən boru xətləri və onun ayrı-ayrı elementləri üçün təhlükəsizlik əmsalları aşağıdakı qaydada müəyyən edilir:

– dəniz stasionar platformalarında (DSP) və DSP ətrafı zonada, $f_y = 0.50$;

– DSP-dən kənar maili xətlərdə, $f_y = 0.72$ qəbul edilir.

Boru xəttinin yerləşməsindən asılı olaraq daxili təzyiçə görə möhkəmlik hesablarında təhlükəsizlik əmsallarının aşağıdakı qiymətləri tövsiyə edilir [6].

Quru şəraitində yaşayış məntəqələrinə yaxın zonalarda $f_y = 0.60$; su hövzələrinə, kommunikasiya xətlərinə yaxın zonalarda $f_y = 0.72$; çöllərə, dağlıq yerlərə, əkin sahələrinə yaxın yerlərdən keçən boru xətləri üçün $f_y = 0.80$.

Dəniz şəraitində DSP-də və DSP ətrafı şaquli borularda, $f_y = 0.60$; DSP-dən kənar şaquli borularda, $f_y = 0.72$.

Boru materialının axıcılıq həddinə görə təhlükəsizlik əmsalları [7–10] sənədlərində verilmişdir.

ABS – Subsea Pipeline Systems [13]

Bu sənədin tələblərinə görə borudaxili istismar və boruxarici hidrostatik təzyiqlərin birgə təsirinə

	Normativ təsnifatının adı	Boru xəttinin yerləşməsinə və istismar rejiminə görə kateqoriyası	Təhlükəsizlik əmsalları	
			f_y	f_u
1	AzDTN 2.9-2 Magistral boru kəmərləri. Layihələndirmə normaları.	B(0.6)	0.5±0.48	0.3±0.42
		III(0.75)	0.62±0.57	0.37±0.51
		III,IV(0.9)	0.75±0.68	0.44±0.58
2	СТО Газпром 2-2.1-383-2009 Нормы проектирования промысловых трубопроводов.	B	0.7±0.48	0.42±0.43
		C	0.8±0.59	0.48±0.52
		H	0.9±0.71	0.54±0.63
3	API 1111 Design, construction, operation, and maintenance of offshore pipelines.	DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.74±0.58	0.44±0.52
		DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.88±0.70	0.53±0.62
4	DNV-OS-F101 Submarine Pipeline Systems.	DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.67	0.4±0.59
		DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.77	0.46±0.68
5	ASME 31.4 Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and other Liquids.	DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.6	-
		DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.72	-
		Yaşayış məntəqələrinə yaxın	0.60	-
		Yaşayış məntəqələrindən uzaq	0.72	-
6	ASME 31.8 Gas Transmission and Distribution Piping Systems.	Quru şəraitində:		
		İstismar zonası 1(bölmə 1)	0.72±0.80	-
		İstismar zonası 1(bölmə 2)	0.60 ±0.72	-
		İstismar zonası 3	0.5±0.6	-
		İstismar zonası 4	0.4±0.5	-
		Dəniz şəraitində:		
		DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.5	-
DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.72	-		
7	BS 8010 -2 Pipelines on land Section 2.8	B kateqoriyalı məhsulların nəqlində.	0.72	-
		D kateqoriyalı, yerləşmə sinfi-1	0.72	-
		D kateqoriyalı, yerləşmə sinfi-2	0.60	-
8	BS 8010 - Pipelines subsea Section 4.2	DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.6	-
		DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.72	-
9	Canadian Standard CSA Z662: Oil and Gas Pipeline Systems (Clause 4.3.3).	Quru şəraitində:		
		Baza hesabat əmsalı	0.8	-
		Boru xəttinin istismar zonasından və avadanlığın yerləşməsindən asılı olaraq	0.5±0.80	-
		(0.4±0.72)	-	-
		Dəniz şəraitində:		
DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.67	-		
DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.77	-		
10	ISO13623 Petroleum and natural gas industries. Pipeline transportation systems (Clause 6.4)	Yaşayış məntəqələrinə və infrastrukturlara yaxın sahələrdə	0.67	-
		Yaşayış məntəqələrinə və infrastrukturlardan uzaq sahələrdə	0.77	-
		DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.67	-
		DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.77	-
11	ABS Subsea pipeline systems	DSP və DSP ətrafı şaquli borularda	0.70	0.58
		DSP-dən kənar maili boru xətlərində	0.77	0.67

dən boru divarında yaranan radial və hesabi gərginliklər aşağıdakı kimi qiymətləndirilir:

$$\sigma_h = (p_i - p_c) \frac{(D-t)}{2t} \leq$$

$$\leq \sigma_d = \text{Min}[\mu_y \sigma_y; 0.87 \mu_u \sigma_u], \quad (9)$$

burada μ_y – təhlükəsizlik əmsalıdır. Boru xəttinin yerləşməsindən, təhlükəsizlik sinfindən və boru

materialının keyfiyyətindən asılı olaraq müəyyənləşdirilir.

(9) ifadəsinə əsasən nəql edilən karbohidrogen məhsullarının növündən asılı olmayaraq DSP-dən kənar sualtı boru xətlərinin maili hissələri üçün $f_y = 0.77$, $f_u = 0.67$, DSP və DSP ətrafı zonalər üçün: $f_y = 0.70$; $f_u = 0.58$ təşkil edir.

RMР-Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов, 2009 [14]

Ədəbiyyat [15] boru xəttinin yalnız sualtı hissəsinə, sahilə çıxan və sahilə yaxın mühafizə olunan sahələrinə şamil edilir. Boru divarında daxili və hidrostatik təzyiqlərdən yaranan radial və hesabı gərginlik aşağıdakı şərti təmin etməlidir:

$$\sigma_h = (p_i - p_c) \frac{(D-t)}{2t} \leq \leq \sigma_d = \text{Min} \{ f_y \sigma_y; f_u \sigma_u \}. \quad (10)$$

Nəql edilən karbohidrogen məhsulunun növündən və istismarın etibarlıq səviyyəsindən asılı olaraq boru xətləri təsnif edilir.

Boru xəttinin sinfindən asılı olaraq $f_y = 1/n_c$ və $f_u = 1/n_m$ ifadələri vasitəsi ilə hesablanır, sualtı hissələri üçün, $f_y = 0.80-0.85$; $f_u = 0.50-0.57$ sahil və sahilə yaxın mühafizə olunan zonalarda isə $f_y = 0.75-0.81$; $f_u = 0.49-0.56$ hədlərində dəyişir.

II qrup NTS-lər

Bu qrupa daxil olan NTS-lər I qrup sənədlərdən fərqli olaraq əsasən dəniz şəraitində istismar edilən boru xətlərinin layihələndirilməsi və istismarının tənzimləyir. Aşağıda bunlardan iki nüfuzlu sənədin icmalı verilmişdir

(API 1111 – Design, construction, operation, and maintenance of offshore hydrocarbon pipelines) [11]

Bu sənəddə əsas kriteri kimi boru materialının mexaniki xarakteristikalarına və həndəsi ölçülərinə görə hesablanan dağıdıcı təzyiqdən istifadə edilir. Daxili təzyiqdən boru xəttində yaranan dağıdıcı təzyiq aşağıdakı ifadələrdən biri vasitəsilə hesablanır:

$$p_b = 0.45 (\sigma_y + \sigma_u) \ln \frac{D}{D_i},$$

$$p_b = 0.90 (\sigma_y + \sigma_u) \frac{t}{D-t}. \quad (11)$$

$D/t > 15$ olan hallarda hər iki ifadə ekvivalentdir. $D/t \leq 15$ olan hallarda 15 ifadəsindən istifadə edilməsi tövsiyə edilir.

Boru xəttində yaranan qəza, hidrostatik sı-

naq, layihə və digər təzyiqlər aşağıdakı ifadələrlə müəyyən edilən təzyiqlərdən böyük ola bilməz:

$$p_i \leq f_b f_y f_T p_b, p_d = 0.80 p_i, p_a = 0.90 p_i, \quad (12)$$

burada f_b – daxili dağıdıcı təzyiqə görə təhlükəsizlik əmsalıdır və bütün boru xətlərinə tətbiq edilir. DSP-dən kənar bütün maili boru kəmərləri üçün $f_b = 0.90$, DSP-də yerləşən texnoloji və şaquli boru xətləri (rayzerlər) üçün $f_b = 0.75$ qəbul edilir.

f_i – tikişli borular üçün tikiş əmsalıdır. Təzyiq altında istismar edilən boru xətlərində istifadə edilən borular üçün qaynaq tikiş əmsalı $f_i \geq 1.0$, tikişsiz borular üçün isə $f_i = 1.0$ qəbul edilir.

p_a – qəza təzyiqi, MPa; p_i – hidrostatik sınaq təzyiqidir, MPa.

(DNV-OS-F101 Submarine Pipeline Systems) [12]

Dəniz şəraitində istismar edilən karbohidrogen məhsullarının nəqli boru xətlərində yaranan boru-daxili təzyiq aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$(p_i - p_c) \leq \frac{P_b}{\gamma_{sc} \gamma_m}, \quad (13)$$

burada γ_m – materiala görə etibarlılıq əmsalıdır. Əsas həddi, istismara yararlığa və xüsusi həddi vəziyyətlərə (ULS/SLS/ALS) görə hesabatlarda $\gamma_m = 1.15$ qəbul edilir; γ_{sc} – boru xəttinin təhlükəsizlik sinfi əmsalıdır (DSP və DSP ətrafı zonalər üçün $\gamma_{sc} = 1.308$; DSP-dən kənar zonalər üçün isə $\gamma_{sc} = 1.138$ qəbul edilir); p_i – borudaxili təzyiq, MPa; p_c – boru xəttinə təsir edən hidrostatik təzyiqdir, MPa.

Boru xəttində yaranan plastik axıcılıq təzyiqi boru materialının möhkəmlik həddinə və həndəsi ölçülərinə görə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$p_{b(y)} = \frac{2t}{D-t} \sigma_y \frac{2}{\sqrt{3}},$$

$$p_{b(u)} = \frac{2t}{D-t} \frac{\sigma_u}{1.15} \frac{2}{\sqrt{3}}, \quad (14)$$

(10) ifadəsinin γ_{sc} , γ_m yuxarıda göstərilən uyğun qiymətlərini (18)-də nəzərə almaqla, boru xətlərinin layihə təzyiqlərini aşağıdakı ifadələr vasitəsilə hesablamaq olar. DSP-də və DSP ətrafı şaquli borularda: axıcılıq həddinə görə

$$(p_i - p_c) \leq p_{d(y)} = \left(\frac{2t}{D-t} \sigma_y \frac{2}{\sqrt{3}} \right) / (\gamma_{sc} \gamma_m) =$$

$$= \frac{2t}{D-t} 0.77 \sigma_y$$

API 5L	Boru materialı			KS və DSP-də istismar edilən boru xətləri üçün hesablanmış təhlükəsizlik əmsalları															
	σ_y	σ_u	$k = \sigma_u / \sigma_y$	$f_1 = \sigma_d / \sigma_u$						$f_2 = \sigma_d / \sigma_u$						X_{orta}			
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
B	245	412	0.59	0.55	0.70	0.6	0.5	0.78	0.67	0.63	0.32	0.42	0.36	0.30	0.47	0.40	0.38		
X-42	290	414	0.70	0.55	0.60	0.6	0.5	0.71	0.67	0.60	0.38	0.42	0.42	0.35	0.50	0.40	0.41		
X-46	317	434	0.73	0.55	0.57	0.6	0.5	0.69	0.67	0.60	0.40	0.42	0.44	0.37	0.51	0.49	0.44		
X-52	359	455	0.79	0.55	0.51	0.6	0.5	0.66	0.67	0.58	0.43	0.40	0.47	0.39	0.52	0.49	0.45		
X-56	386	490	0.79	0.55	0.51	0.6	0.5	0.66	0.67	0.58	0.43	0.40	0.47	0.39	0.52	0.53	0.46		
X-60	414	517	0.80	0.55	0.50	0.6	0.5	0.66	0.67	0.58	0.44	0.40	0.48	0.40	0.53	0.54	0.46		
X-65	448	531	0.84	0.53	0.50	0.6	0.5	0.64	0.67	0.57	0.45	0.42	0.51	0.42	0.54	0.57	0.48		
X-70	483	565	0.85	0.52	0.50	0.6	0.5	0.63	0.67	0.57	0.45	0.43	0.51	0.43	0.54	0.57	0.49		
X-80	552	621	0.89	0.50	0.48	0.6	0.5	0.62	0.67	0.56	0.45	0.43	0.53	0.44	0.55	0.60	0.50		
				Azkarbonlu poladlar	0.63													Azkarbonlu poladlar	0.38
				Aşağılegirli poladlar	0.58													Aşağılegirli poladlar	0.46
				Bütün boru materialları	0.59													Bütün poladlar	0.45
Yaşayış məntəqələrindən uzaq və DSP-dən kənar maili boru xətləri üçün təhlükəsizlik əmsalları (yekun nəticələr)																			
				Azkarbonlu poladlar	0.73													Azkarbonlu poladlar	0.44
				Aşağılegirli poladlar	0.68													Aşağılegirli poladlar	0.54
				Bütün poladlar	0.69													Bütün poladlar	0.52

Qeyd. 1* - AzDTN 2.9-2; 2 - CTO Qazprom 2-2-1383; 3 - ASME 31.4; 4 - ASME 31.8; 5 - API 1111; 6 - DNV-OS-F101

Cədvəl 5

Boru xətlərinin istismar rejimlərindən asılı olaraq f_1 tövsiyə edilən qiymətləri	
Quru şəraitində	
Qaz və qaz-kondensatın nəqlində:	
- yaşayış yerlərindən uzaqlarda, çöllərdə, kənd təsərrüfatı əkin sahələrində və s.;	0.80
- yaşayış yerlərinə, magistral yollara, sənaye müəssisə və infrastrukturlarına və s. yaxın sahələrdə;	0.60
- kompressor stansiyaları və yeraltı qaz anbarları ərazilərində.	0.60
Neftin nəqlində:	
- yaşayış yerlərindən uzaqlarda, çöllərdə, kənd təsərrüfatı əkin sahələrində və s.;	0.76
- yaşayış yerlərinə, magistral yollara, sənaye müəssisə və qurğularına, su mənbə və hövzələrinə və s. yaxın sahələrdə.	0.65
Dəniz şəraitində	
DSP və DSP ətrafı boru xətlərində:	
- neftin nəqlində;	0.65
- qaz və qaz-kondensatın nəqlində;	0.60
DSP-dən kənar maili boru xətlərində.	0.76

API 5L PSL2 tipli və B=X80 materiallarından ibarət polad boruların təmsalında [1, 3, 5, 6, 11, 12] sənədlərinin tələblərinə əsasən, daxili təzyiqdən boru divarında yaranan hesabı gərginliklər Excel cədvəlləri vasitəsilə qiymətləndirilmişdir. Qiymətləndirmələr müxtəlif istismar rejimlərinə uyğun olaraq 219x16 və 812x16 sortamentli boruların nümunəsində aparılmışdır. Burada, yalnız tikişsiz 219x16 sortamentli borulardan ibarət boru xətlərinin KS ərazilərində, DSP və DSP ətrafı zonalarda istismar rejimlərinə uyğun hesabların yekun nəticələri verilmişdir. Hesablanmış hesabı

gərginliklər vasitəsi ilə, hesabı gərginliklərin materialın möhkəmlik parametrlərinə nisbətləri müvafiq təhlükəsizlik əmsalları ($f_1; f_2$) = $\sigma_d / (\sigma_y; \sigma_u)$ vasitəsilə qiymətləndirilmişdir. Müxtəlif boru materialları üzrə hesabların icmal nəticələri cədvəl 4-də, qrafik formada isə şəkil 2-də verilmişdir.

Şəkil 2, a-da materialın axıcılıq həddinə görə təhlükəsizlik əmsalının materialın möhkəmlik parametrlərinin nisbətindən asılılığı verilmişdir. Göründüyü kimi, [3, 11] istisna olmaqla, digər sənədlərə görə hesabatlarda materialın axıcılıq həddinə

möhkəmlik həddinə görə hesabatlarda

$$(p_i - p_c) \leq p_{d(u)} = \left(\frac{2t}{D-t} \frac{\sigma_u}{1.15 \sqrt{3}} \right) /$$

$$(\gamma_{sc} \gamma_m) = \frac{2t}{D-t} 0.67 \sigma_u$$

DSP-dən kənar maili boru xətlərində: axıcılıq həddinə görə

$$(p_i - p_c) \leq p_{d(s)} = \left(\frac{2t}{D-t} \sigma_y \frac{2}{\sqrt{3}} \right) / (\gamma_{sc} \gamma_m) = \frac{2t}{D-t} 0.88 \sigma_y$$

möhkəmlik həddinə nəzərən hesabatda;

$$(p_i - p_c) \leq p_{d(u)} = \left(\frac{2t}{D-t} \frac{\sigma_u}{1.15 \sqrt{3}} \right) /$$

$$(\gamma_{sc} \gamma_m) = \frac{2t}{D-t} 0.67 \sigma_u$$

yuxarıdakı ifadələrdə 0.77; 0.67 və 0.88; 0.76 müvafiq olaraq boru materialının axıcılıq və möhkəmlik hədlərinə nəzərən təhlükəsizlik əmsallarıdır. Sonrakı hesablar üçün bunlardan ən kiçiyi $p_d(t) = \min(p_{d(s)}(t); p_{d(u)}(t))$ layihə təzyiqi kimi qəbul edilir və buna əsasən (14) vasitəsilə sınaq, qəza və digər təzyiqlər, boru divarında yaranan radial gərginliklər (σ_r) hesablanır.

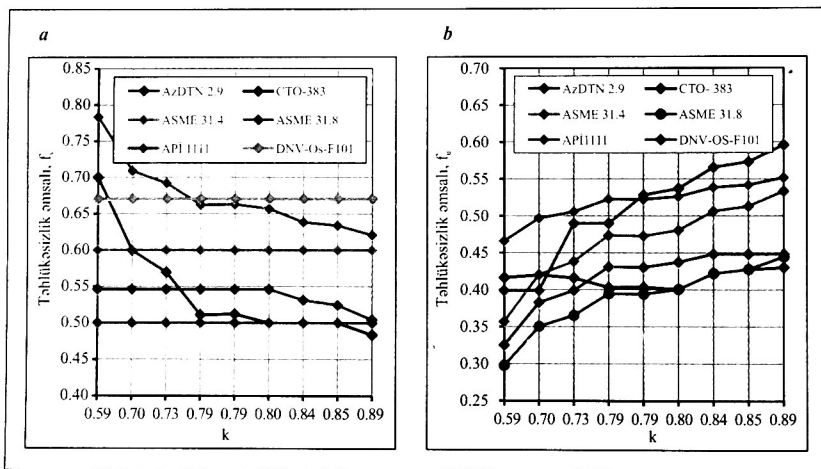
Yuxarıda nəzərdən keçirilən həm də nəzərdən keçirilməyən bir neçə sənəddə borudaxili təzyiqə görə möhkəmlik hesablarının istifadə edilən təhlükəsizlik əmsallarının qiymətləri boru xəttinin

kateqoriya və yerləşməsindən asılı olaraq icmal şəklində cədvəl 3-də verilmişdir. Təhlildən göründüyü kimi, əksər NTS-də [5-10], borudaxili təzyiqə görə hesabatlarda, hesabı gərginlik ya boru materialının axıcılıq həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalları vasitəsi ilə hesablanır ya da boru materialının axıcılıq və möhkəmlik hədlərinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalları vasitəsilə hesablanmış ən kiçik gərginlik, hesabı gərginlik kimi qəbul edilir [4,12-15]. Yalnız [1, 2]-də daxili təzyiqə görə möhkəmliyə hesablar, materialın möhkəmlik həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalları (f_1) vasitəsilə aparılır. Cədvəldə bu təhlükəsizlik əmsalı vasitəsilə axıcılıq həddinə görə $f_2 = (f_u/k)$ şəklində hesablanmış təhlükəsizlik əmsalları da verilmişdir. Nisbətən aşağı səviyyədə məskunlaşma yerlərində təhlükəsizlik əmsallarının daha yüksək qiymətlərindən istifadə edilir. Bir qrup NTS-də materialın möhkəmlik parametrlərinin nisbətindən (k) asılı olmayaraq f_1 -nin qiyməti dəyişməz qalsa da, başqa qrup NTS-də k-nin artımına mütənəsib olaraq f_1 -nin azalması müşahidə olunur.

Cədvəl 3-də təqdim edilən NTS-lərin əksəriyyətində boru xətlərinin daxili təzyiqə görə möhkəmliyə hesabında yalnız materialın axıcılıq həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsallarından istifadə edilir. Analiz edilən sənədlərdən yalnız [1]-də möhkəmliyə hesabın materialın möhkəmlik həddinə görə təhlükəsizlik əmsalları vasitəsilə aparılması nəzərdə tutulur.

Müzakirə və nəticələr

Boru xətlərinin istismar şəraitindən asılı olaraq



Şəkil 2. Materialın möhkəmlik parametrlərinin nisbətindən ($k = \sigma_y / \sigma_u$) asılı olaraq, materialın axıcılıq (a) və möhkəmlik (b) hədlərinə görə təhlükəsizlik əmsallarının dəyişməsi

görə təhlükəsizlik əmsalı əsasən dəyişməz qalır. Sənəd [1] görə qiymətləndirmədə $k \geq 0.80$ başla-
yaraq, f_1 -nin xətti qaydada 0.5-ə qədər azalması
müşahidə olunur. [3, 11] görə hesabatlarda mate-
rialın möhkəmliyi artıqca f_1 -nin qiyməti azalır.
Bu azalma azkarbonlu poladlardan ($k \leq 0.6$) ibarət
borularda daha çox müşahidə olunur. Şəkil 2. b-də
materialın möhkəmlik həddinə görə təhlükəsizlik
əmsalının (f_1), materialın möhkəmliyindən asılılı-
ğı verilmişdir. Göründüyü kimi, boru materialının
möhkəmliyi artıqca f_1 -nin da qiyməti buna mütə-
nasib olaraq artır.

Analoji hesablatlar, yaşayış məntəqələrindən
uzaq magistral boru xətləri və dəniz şəraitində,
DSP-dən kənar ərazilərdə istismar edilən maili
boru xətləri üçün də aparılmışdır. Təhlillər göstə-
rir ki, təhlükəsizlik əmsalları borunun növünə və
materialının möhkəmlik parametrlərinə nisbətən
boru xətlərinin istismar rejimindən asılı olaraq
daha geniş intervalda dəyişir.

NTS-lər üzrə və boru materiallarının növünə
görə təhlükəsizlik əmsallarının orta statistik qi-
ymətləri hesablanmış, bu nəticələrin cədvəl 3-də
verilmiş müvafiq göstəricilərlə müqayisəli təhlil-
ləri aparılmış və materialın axıcılıq həddinə görə
təhlükəsizlik əmsallarının seçilməsi üçün təkliflər
hazırlanmışdır (cədvəl 5). Bu təkliflər hazırla-
narkən mümkün risklərin qiymətləndirilməsi apa-
rılmamış və bu növbəti araşdırmaların mövzusu
kimi nəzərdə tutulur.

Nəticə

1. Boru xətlərinin daxili təzyiqlə görə möh-
kəmliyə hesablatlarının, boru materialının axıcılıq
həddinə nəzərən təhlükəsizlik əmsalı (f_1) vasitə-
silə aparılması daha məqbul hesab edilir. Boru
xətlərinin istismar rejimindən və nəql edilən kar-
bohidrogen məhsullarının növündən asılı olaraq
təhlükəsizlik əmsallarının cədvəl 5-ə əsasən seçil-
məsi tövsiyə edilir.

2. Boru xətləri üçün istifadə edilən borular
ən azı istismar temperaturunda şarpi üzrə $KCV \geq$
 $\geq 24 \text{ J/sm}^2$ zərbə özlülüyünə malik olmalıdır. Əlavə
olaraq tikişli borular üçün uzununa tikiş əmsalı
 $f_1 \geq 1$ şərti təmin olunmalıdır.

3. Qaz və qaz-kondensat məhsullarının mädən-
daxili yüksək təzyiqlə altında istifadə edilən boru
xətlərinin, boru elementlərinin keyfiyyətinə 100 %
ultrasəs (UT) üsulu ilə nəzarət edilməlidir.

4. AzDTN 2.9-2 sənədində göstərilən texniki
məhdudiyətlər səbəbindən quru şəraitində daxili
istismar təzyiqləri 10 MPa-dan yüksək, dəniz şəra-
itində isə istənilən təzyiqlə altında istismar edilən
boru xətlərinin layihələndirilməsinə və istismarına
bu sənədin müddəaları tətbiq edilə bilməz.

5. 4-cü bənddə göstərilənlərdən əlavə, AzDTN
2.9-2-nin mənəvi və texniki cəhətdən köhnəlmə-
sini, müasir tələblərə cavab verməməsinə nəzərə
alaraq, quru və dəniz şəraitlərində istismar edilən
mädəndaxili və magistral boru xətlərinin la-
yihələndirilməsinə və istismarını tənzimləyən yeni
normativ sənədin (və ya sənədlər toplusunun) ha-
zırlanmasına zərurət yaranır.

References

1. AzDTN 2.9-2:2009 Magistral Boru Kemerlərinin Layihələndirmə Normaları, 78 s.
2. SNiP 2.05.06-85* Magistral'nye truboprovody, 118 c.
3. STO Gazprom 2-2.1-383:2009 Normy proyektirovaniya promyslovykh truboprovodov, 2009, 141 s.
4. QOSTP 54382:2011. Podvodnye truboprovodnye sistemy. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya, 274 s.
5. ASME 31.8:2020 Gas Transmission and Distribution Piping Systems, 224 p.
6. ASME 31.4:2019 Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and other Liquids, 138 p.
7. ISO 13623:2017 Petroleum and Natural Gas Industries - Pipeline Transportation Systems, 84 p.
8. CSA Z662:19 Canadian Standard Oil and Gas Pipeline Systems, 922 p.
9. BS 8010 2:2017 Pipelines on land: Section 2.8 Steel for oil and gas, 57 p.
10. BS 8010 3:2019 Part 3: Pipelines subsea: Section 4.2 Steel for oil and gas, 83 p.
11. API RP 1111:2015 Design, Construction, Operation and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines. 58 p.
12. DNV-OSF101:2015 Submarine Pipeline Systems. 238 p.
13. ABS -2018 Subsea pipeline systems, 174 p.
14. RMR ND N2 -020301-002;2009. Pravila klassifikatsii i postroyki morskikh podvodnykh truboprovodov, 205 s.

Ədəbiyyat siyahısı

1. AzDTN 2.9-2:2009 Magistral Boru Kəmərlərinin Layihələndirmə Normaları, 78 s.
2. SNiP 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы, 118 с.
3. STO Газпром 2-2.1-383:2009 Нормы проектирования промышленных трубопроводов, 2009, 141 с.
4. QOSTP 54382:2011 Подводные трубопроводные системы. Общие технические требования, 274 с.
5. ASME 31.8:2020 Gas Transmission and Distribution Piping Systems, 224 p.
6. ASME 31.4:2019 Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and other Liquids, 138 p.
7. ISO 13623:2017 Petroleum and Natural Gas Industries - Pipeline Transportation Systems, 84 p.
8. CSA Z662:19 Canadian Standard Oil and Gas Pipeline Systems, 922 p.
9. BS 8010 2:2017 Pipelines on land: Section 2.8 Steel for oil and gas, 57 p.
10. BS 8010 3:2019 Part 3: Pipelines subsea: Section 4.2 Steel for oil and gas, 83 p.
11. API RP 1111:2015 Design, Construction, Operation and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines. 58 p.
12. DNV-OSF101:2015 Submarine Pipeline Systems. 238 p.
13. ABS -2018 Subsea pipeline systems, 174 p.
14. RMR ND N2 -020301-002;2009 Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов, 205 с.