

UOT 622.692.4.07

BORU KƏMƏRLƏRİNİN OXU BOYUNCA DƏYİŞƏN YÜKLƏRİN ONUN MÖHKƏMLİYİNƏ TƏSİRİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ.Qəzalə Sabir qızı Xeyrəbadi ¹, Rəbiyə Mustafə qızı Abışova ²**XÜLASƏ**

Tədqiqatın məqsədi. Magistrəl boru kəmərlərində müxtəlif təsirlərdən yaranan deformasiya və gərginliklərin təyini, boruların möhkəmliyinin tədqiqi və layihə-rejim parametrlərinin əsaslandırılması.

Tədqiqatın metodologiyası. Boru kəmərlərinin gərginlikli-deformasiyalı vəziyyətini tədqiq edərkən baxılan məsələ nazikdivarlı qabların momentli nəzəriyyəsi ilə həll edilmişdir və en kəsikdə yaranan normal qüvvələrlə yanaşı əyici momentlər və kəsici qüvvələr də nəzərə alınmışdır.

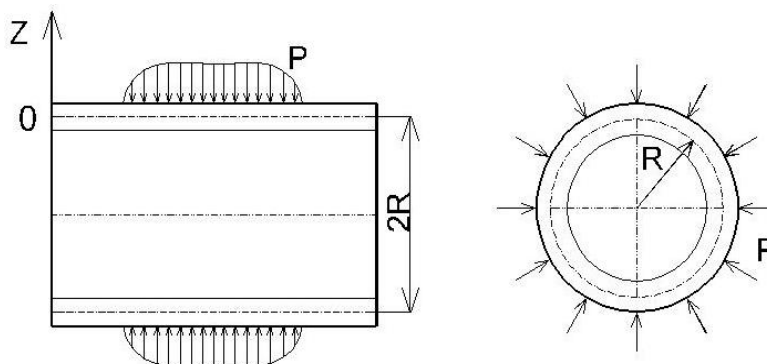
Tədqiqatın tədbiqi əhəmiyyəti. Magistrəl boru kəmərlərinin tikilməsində və istismarında boruların möhkəmliyinin, dayanıqlığının təmin olunması, kəmərin uzun müddət işləməsi, müxtəlif təsirlərə davam gətirməsi kəmərlər üçün vacib göstəricilərdir. Boruların soyuq əyilməsinin tədqiqinə ən kiçik əyrilik radiusunun təyini əymə zamanı borularda bükülmələrin, çatların və yarıqların əmələ gəlməsinin qarşısının alınmasına xidmət edə bilər.

Tədqiqatın nəticələri. Boru kəmərlərinin sürüşməyə qarşı davamlılığını artırmaq məqsədi ilə sürüşməyə meyilli zonalarda borunun sərtliyinin artırılmasının bir üsulu təklif edilmişdir. Təxmin edilən müxtəlif sürüşmə uzunluqları üçün bu üsulun təbiiqi ilə kəmərin böyük sürüşdürücü qüvvəyə davam gətirməsi və sürüşmə istiqamətindəki əyilməsinin əhəmiyyətli dərəcədə azalması konkret məsələlərlə izah edilmişdir.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Boru kəmərlərinin gərginlikli-deformasiyalı vəziyyətini tədqiq edərkən baxılan məsələ nazikdivarlı qabların momentli nəzəriyyəsi ilə həll edilmişdir və en kəsikdə yaranan normal qüvvələrlə yanaşı əyici momentlər və kəsici qüvvələr də nəzərə alınmışdır.

Açar sözlər. Boru kəməri 1, neft-qaz quyuları 2, nazikdivarlı boru 3, proyeksiya 4, müvazinət tənliyi 4.

Giriş: Magistrəl neft və qaz kəmərlərinin tikintisi və istismarı son vaxtlar iqtisadiyyatın əsas sahələrindən birinə çevrilmişdir. Xalq təsərrüfatının neft, neft məhsulları və qazla təminatının təmini proqramını yerinə yetirmək üçün onların nəqli və saxlanması neftin və qazın istehsalı və emalı ilə uyğun olmalıdır. Neft sənayesi sistemində neftin nəqli və saxlanması rolunu böyük əhəmiyyət və məsuliyyət kəsb edir. Magistrəl boru kəmərlərinin tikintisi böyük xərc və kapital qoyuluşu tələb edir, hətta bəzən elə olur ki, neft və qazın çıxarılması onun nəqlindən ucuz başa gəlir.

Şəkil.1 P təzyiqi ilə yüklənmiş borunun hesabət sxemi.

¹Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, "Mexanika" kafedrası, t.ü.e.d. gezale@mail.ru. OrcİD 0000-0001-7756-8516

²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, "Mexanika" kafedrası, t.ü.e.d. rabiya.abishova@mail.ru

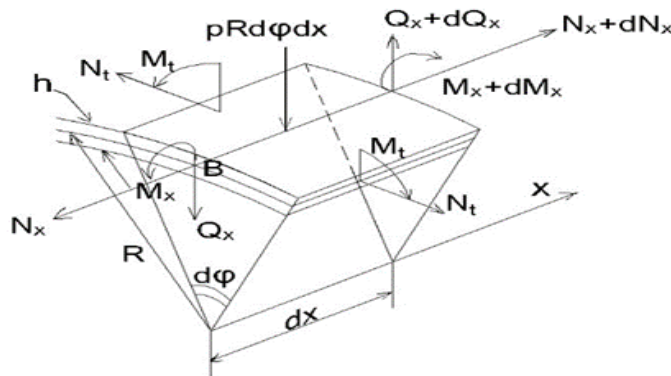
Baxılan məsələdə boru nazikdivarlı boru kimi götürülür və onda yaranan deformasiya və gərginliklər momentli nəzəriyyədən istifadə edilərək tədqiq edilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, borular qalındıvarlı və nazikdivarlı ola bilər. Əgər borunun qalınlığının daxili diametrinə nisbəti 1/20-dən böyük olarsa, boru qalındıvarlı, əks halda isə nazikdivarlı boru adlanır (Биргер, 2015). Bu hesabla bütün boru kəmərlərinin boruları nazikdivarlı boru hesab oluna bilər və bunların hesabatını momentli nəzəriyyə ilə aparmaq daha doğru olardı. Momentli nəzəriyyədə borunun en kəsiklərində yaranan normal qüvvələrlə yanaşı kəsici qüvvələr və əyici momentlər də nəzərə alınır [Биргер, 2015).

Baxdığımız məsələdə xarici qüvvənin borunun çevrəsi boyunca simmetrik olması burada yaranan gərginliklərin və yerdəyişmələrin də simmetrik olmasını deməyə əsas verir.

Qoyulmuş məsələni həll etmək üçün, yəni burada yaranan daxili qüvvələri təyin etmək üçün lazım olan tənlikləri almaqdan ötrü borunun bir elementinə baxaq. Aydın ki, bu element əyrixətli olacaq (şəkl.2.). Tutaq ki, borunun qalınlığı h , orta qatının radiusu R , baxdığımız elementin uzunluğu dx , mərkəzi bucağı isə $d\varphi$ –dir. Onda şəkildən görüldüyü kimi elementin əyri xəttinin yəni qövsünün uzunluğu $Rd\varphi$ olar. Çevrə boyunca olan N_t normal qüvvələri, Q_x və Q_t kəsici qüvvələrini verir. Simmetriyaya görə isə N_t qüvvələri sabit qalır. Həmçinin simmetriyaya görə bu qüvvələrdən sıfırdan fərqli olan ancaq Q_x olur.

Şəkil.2. Borunun elementar hissəsi



Normal N qüvvəsinə, Q kəsici qüvvəsinə və M əyici momentinə gəldikdə isə bunlar haqqında aşağıdakıları demək olar. N , Q və M olaraq qalınlığın orta səthində vahid uzunluqlu qövsə və doğurana düşən daxili qüvvələr başa düşülür (Вольмир, 1956).

Elementə təsir edən əyici momentlərdən görünür ki, M_t əyici momentləri simmetriyaya görə çevrə boyunca sabit qalır. Qeyd etdiyimiz simmetriya şərtlərinə görə elementin altı müvazinət tənliyindən üçü eyniliklə sıfıra çevrilir, üç tənlik qalır. Bu tənliklər bütün qüvvələrin x oxu üzərində proyeksiyalarının, radius boyunca proyeksiyalarının və B nöqtəsinə görə momentlərinin cəbri cəminin sıfıra bərabər olmasıdır. Xarici qüvvələrin boruya təsir etdiyi sahədə bir normal qüvvəyə gətirildiyini fərz edərək bu müvazinət tənliklərini aşağıdakı kimi yazmaq olar [1]:

$$\begin{aligned} \sum (F_i)_x &= -N_x R d\varphi + (N_x + dN_x) \cdot R d\varphi = 0; \\ \sum (F_i)_r &= P dx \cdot R d\varphi - Q_x R d\varphi + (Q_x + dQ_x) \cdot R d\varphi - 2N_x \cdot dx \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} = 0; \\ \sum (M_i)_B &= -M_x R d\varphi + P dx R d\varphi \cdot \frac{dx}{2} + (Q_x + dQ_x) \cdot R d\varphi dx + \\ &+ (M_x + dM_x) R d\varphi = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Bu tənliklərin birincisindən $N_x = const$ alırıq. Gələcəkdə bu N_x qüvvələrinin borunun əyilməsinə təsirini nəzərə almayacağıq və bu qüvvələri sıfıra bərabər götürəcəyik. Əgər bu qüvvələr sıfırdan fərqli olsalar, bu sabit qüvvələrdən yaranan gərginlik və deformasiyalar asanlıqla təyin olunur və onlar borunun əyilməsindən yaranan gərginlik və deformasiyalara əlavə olunur. Qalan iki tənlik yüksək tərtibli kiçik kəmiyyətləri əzərə almasaq aşağıdakı şəkllə düşər:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_x}{dx} - \frac{N_t}{R} + P &= 0; \\ \frac{dM_x}{dx} + Q_x &= 0. \end{aligned} \quad (1')$$

Sonuncu tənlikdən bir də diferensial alsaq tapırıq:

$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} + \frac{dQ_x}{dx} = 0$$

Bunu (1')-in birinci tənliyində yerinə qoysaq alırıq:

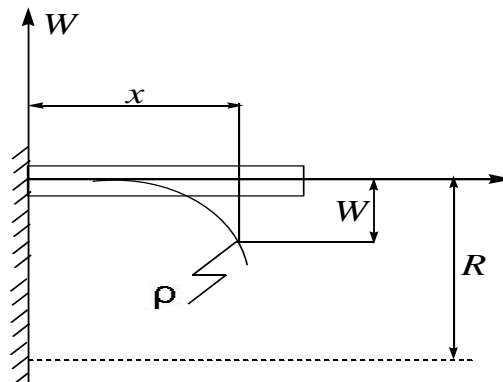
$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} + \frac{1}{R} N_t = P \quad (2)$$

Göründüyü kimi bu tənlikdə M_x və N_t kimi iki məchul var, tənlik isə bir dənədir. Deməli baxılan məsələ statik həll olunmayıdır. məsələni həll etmək üçün əlavə tənlik - deformasiya tənliyini yazmaq lazımdır.

Deformasiya tənliyinin yazılmasını aşağıdakı qaydada həyata keçiririk.

Qalınlığın orta səthinin radial istiqamədə yerdəyişməsini w , oxboyu yer-dəyişməsini u ilə işarə edək (şək.3).

Şəkil.3. Nazikdivarlı borunun deformasiyası zamanı doğuranın əyilməsi



Əgər qalınlığın orta səthinin koordinat başlanğıcından x məsafəsindəki əyrilik radiusunu ρ ilə işarə etsək aşağıdakıları yaza bilərik:

$$EJ_y w'' = M_x, \quad \frac{M_x}{EJ_y} = \frac{1}{\rho} \quad \text{və} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{d^2 w}{dx^2} \quad (3)$$

y neytral oxdur.

Digər tərəfdən qalınlığın orta səthinin çevrə istiqamətindəki və oxboyu nisbi deformasiyaları uyğun olaraq belə olar:

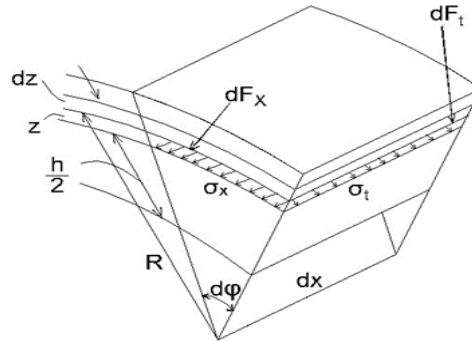
$$\varepsilon_t = \frac{2\pi(R+w) - 2\pi R}{2\pi R} = \frac{w}{R}, \quad \varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (4)$$

Bu deformasiyalar çevrə boyunca olan σ_t və ox boyunca olan σ_x gərginliklərinə uyğundur (şəkil.4). Ümumiləşmiş Huk qanununa görə [2] bu gərginliklər belə yazıla bilər:

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_t + \nu \varepsilon_x);$$
$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu \varepsilon_t). \quad (5)$$

burada E – I növ elastiklik modulu;
 ν – Puasson əmsalındır.

Şəkil.4. Qalınlığın ox boyu və çevrə boyu gərginlikləri



Qalınlığın orta səthinin çevrə və oxboyu istiqamətlərdə deformasiyaları N_t və N_x normal qüvvələrindən yaranır.

M_t və M_x əyici momentləri xalis əyilmədə olduğu kimi qalınlığın orta səthinin uzanmasını yaratmır.

Qeyd etmək lazımdır ki, N_t və N_x qüvvələri [3, 46] xətt boyunca paylanmış qüvvələrdir. Bu qüvvələr baxılan elementin üzlərində σ_t və σ_x gərginlikləri yaradır. Əgər F_t və F_x elementin çevrə və oxboyu istiqamətdəki kəsiklərinin sahələri və h elementin qalınlığı olarsa aşağıdakıları yazmaq olar:

$$F_t = h \cdot dx, \quad F_x = h \cdot R d\varphi.$$

Onda şəkil 2 və şəkil 4-dən yaza bilərik:

$$N_t \cdot dx = \sigma_t \cdot F_t, \quad N_x \cdot \rho d\varphi = \sigma_x \cdot F_x$$



F_t və F_x - i sonuncu ifadələrdə yerinə yazsaq alırıq:

$$N_t = \sigma_t \cdot h, \quad N_x = \sigma_x \cdot h \cdot \frac{R}{\rho}$$

buradan da alırıq

$$\sigma_t = \frac{N_t}{h}, \quad \sigma_x = \frac{N_x}{h} \cdot \frac{\rho}{R} \quad (6)$$

(4) və (6)-nı (5)-də yerinə yazıb $\rho = R$ olduğunu nəzərə alsaq aşağıdakını tapırıq:

$$N_t = \frac{Eh}{1-\nu^2} \left(\frac{w}{R} + \nu \frac{du}{dx} \right) \quad (7)$$

$$N_x = \frac{Eh}{1-\nu^2} \left(\frac{du}{dx} + \nu \frac{w}{R} \right) \quad (8)$$

Yuxarıda biz $N_x = 0$ olduğunu qəbul etmişdik. Onda (8)-dən yazı bilərik:

$$\frac{du}{dx} = -\nu \frac{w}{R} \quad (9)$$

(9)-u (7) yerinə qoyub N_t üçün alırıq:

$$N_t = \frac{Eh}{R} \cdot w \quad (10)$$

(10)-u (2)-də yerinə qoymaqla M_x -dən asılı bir tənlik alırıq:

$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} + \frac{Eh}{R^2} \cdot w = P \quad (11)$$

Beləliklə statik həll olunmazlıq aradan qaldırıldı.

(11) diferensial tənliyini borunun ancaq radial istiqamətdə olan w yerdəyişməsi ilə ifadə edək.

Şəkil 2 və şəkil 4-dən aydındır ki,

$$M_x \cdot R d\varphi = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \sigma_x \cdot z dF_x, \quad dF_x = R d\varphi \cdot dz \quad (R + z \approx R \text{ olsa}); \quad (12)$$

$$M_t dx = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} \sigma_t \cdot z dF_t, \quad dF_t = dx \cdot dz.$$

Oxboyu simmetriyə görə $\varepsilon_r = 0$ qəbul etmək olar və xalis əyilmədə olduğu kimi

$\varepsilon_x = \frac{z}{\rho} = z \cdot w''$ götürərək (5)-dən alırıq:

$$\sigma_t = \nu \sigma_x, \quad \sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \varepsilon_x = \frac{E}{1-\nu^2} \cdot z \cdot \frac{d^2 w}{dx^2} \quad (13)$$

(13) -ü (12)-də yerinə yazsaq alırıq:



$$M_x = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{d^2w}{dx^2} = D \cdot \frac{d^2w}{dx^2} \quad (14)$$
$$M_t = \nu \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \cdot \frac{d^2w}{dx^2} \quad \text{yaxud} \quad M_t = \nu M_x$$

burada

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (15)$$

ilə işarə olunmuşdur və borunun əyilmədə silindrik sərtliyi adlanır.

(14)-dən M_x -i (11)-də yerinə qoyub alarıq:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(D \frac{d^2w}{dx^2} \right) + \frac{Eh}{R^2} \cdot w = P \quad (16)$$

Əgər borunun h qalınlığı uzunluq boyu dəyişməzsə, onda $D = const$ olar (magistral kəmərlərdə belədir), (16) tənliyi sadələşər və onu belə yazmaq olar:

$$\frac{d^4w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{P}{D} \quad (17)$$

burada

$$\beta^4 = \frac{3(1-\nu^2)}{R^2 h^2} \quad (18)$$

(17) tənliyi radial yerdəyişməyə görə dördüncü tərtib bircinsli olmayan xətti diferensial tənlikdir. Bu tənliyi həll etməklə və həlli araşdırmaqla borunun dayanıqlığını və dayanıqlığın nə vaxt itiriləcəyini tədqiq etmək olar.

Ədəbiyyat siyahısı:

1. Биргер И.А. Стержни, Пластинки. Оболочки. «Леванд», 2015 г., 392 с.
2. Həsənov R.Ə., Mustafayev M.İ. "Təbii mexanika (materillar müqaviməti bölməsi) Bakı, İHNM nəşri, 2009, 257 s.
3. Magistral neft kəmərlərinin istismarında texniki təhlükəsizlik qaydaları. Bakı, İsmayıl NPM, 2004, -168 s.
4. Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость. Справочное пособие. М. Недра, 1991 г., 286 с.
5. Богданов Е.А.К. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования. М., Высшая школа, 2006 г., 279 с.
6. Закожурников Ю.А. Транспортировка нефти, нефтепродуктов и газа. Инфолио, 2010 г., 432 с.
7. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М., Гостехиздат, 1956 г., 417 с.
8. Sadıqov İ.R. Materiallar müqaviməti. Bakı, Təhsil, 2010, 376 s.
9. Piriyeu A.Y., Səfərov Q.H., Nəsiyev A.S. Texniki terminlər lüğəti. Bakı: Az. Tərcümə Mərkəzi, 2004, 368 s.
10. Вайншток С.М. Трубопроводный транспорт нефти. М., «Недра- Бизнесцентр», 2002 г., 407 с.



11. Mirzəcanzadə A.X. Hidravlika. Bakı, “Maarif” 1990. 280 s.
Нечваль А.М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов.
Учебное пособие. Уфа, 2001 г., 165 с.

THE EFFECT OF VARYING LOADS ALONG THE AXIS OF THE PIPE ARCHES ON THE STRENGTH OF THE PIPE.

SUMMARY

The purpose of the research. Determination of deformations and stresses of pipelines resulting from various influences. Study of the strength of pipes, justification of the corresponding adjustable projects of parameters.

The methodology of the research. In the course of studying the stress-strain state of the pipeline, the problem was solved using the moment theory of thin-walled vessels, bending moments and cutting forces arising in the cross section along with other normal forces were also taken into account.

The practical importance of the research. For a pipeline, important indicators are the determination of the strength and stability of pipelines during their construction and operation, the long-term operation of the pipeline and the exposure to various impacts. In the study of cold bending of pipes, the determination of the smallest radius of curvature during bending can serve to eliminate merging in pipes, the occurrence of cracks and breaks.

The results of the research. In order to increase the slip resistance of the pipeline in areas prone to slip, a method is proposed to increase the rigidity of the pipes. For the various sliding lengths presented, with the application of this method, maintaining the column with a large sliding force and reducing to a large extent the bending in the sliding direction is explained with specific objectives.

The scientific novelty of research. In the course of studying the stress-strain state of the pipeline, the problem was solved using the moment theory of thin-walled vessels, bending moments and cutting forces arising in the cross section along with other normal forces were also taken into account.

Keywords: Pipeline, oil and gas wells, thin-walled pipe, projection, equilibrium equation.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК ПО ОСИ НА ПРОЧНОСТЬ КОЛОННЫХ ТРУБ

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Определение деформации и напряжений трубопроводных магистралей, возникающих в результате различных воздействий, исследование прочности труб, обоснование соответствующих регулируемых проектов параметров.

Методология исследования. В ходе исследования напряженно-деформационного состояния трубопровода, задача была решена с помощью моментной теории тонкостенных сосудов, также были учтены изгибающие моменты и сила резания, возникающие в поперечном сечении наряду с другими нормальными силами.

Важность исследовательского приложения. Для трубопровода важными показателями являются определение прочности и устойчивости трубопроводов при их строительстве и эксплуатации, длительная работа трубопровода и выдержка различных воздействий. В исследовании холодного изгиба труб определение наименьшего радиуса кривизны, при изгибе может служить устранению слияний в трубах, возникновению трещин и сломов.

Результаты исследования. С целью увеличения устойчивости против скольжения трубопровода в зонах склонных к скольжению предложен способ увеличения жесткости труб. Для представляемых различных длин скольжения с применением этого способа выдерживание колонны большой скользящей силе и уменьшение в значительной степени изгиба в направлении скольжения объяснено с конкретными задачами.

Научная новизна исследования. В ходе исследования напряженно-деформационного состояния трубопровода, задача была решена с помощью моментной теории тонкостенных сосудов, также были учтены изгибающие моменты и сила резания, возникающие в поперечном сечении наряду с другими нормальными силами.

Ключевые слова. Трубопровод, нефтяные и газовые скважины, тонкостенная труба, проекция, уравнение равновесия.