

Xəzər dənizində 300 m dərinlikdə dik borulara təsir edən hidrodinamik qüvvələrin tədqiqi

M.E. Şahlarlı

"Neftqazəlmütədqiqatlayihə" İnstitutu

Açar sözlər: sualtı boru kəməri, dik boru, hidrodinamik qüvvə, dalğa qüvvəsi, axın qüvvəsi, yük birləşmələri.

DOI.10.37474/0365-8554/2022-10-60-64

e-mail: mansursaharli1994@gmail.com

Исследование гидродинамических сил, действующих на подводные стояки на глубине 300 м в Каспийском море

M.Э. Шахларлы
НИПИнефтегаз

Ключевые слова: подводный трубопровод, райзер, гидродинамическая сила, волновая сила, сила течения, сочетание нагрузок.

Подводные трубопроводы играют важную роль в безопасной транспортировке нефти, газа и других энергетических ресурсов из морского дна до берега и оснований. Исследование гидродинамических сил в подводных трубопроводах и райзерах является основным фактором с точки зрения бесперебойности и эффективности технологических процессов. В статье было исследовано воздействие гидродинамических сил, действующих на подводные трубопроводы в Каспийском море. Для выбранных по стандарту ASME B36.10 диаметра и толщины стенки трубы были исследованы действующие на неё силы ветра, волны и течения, а также комбинации сочетания нагрузок. Исследование было произведено в компьютерной программе SACS для трех случаев, в результате была выведена симуляция и таблица сочетаний нагрузок для оптимальных и нежелательных случаев, возникающих от действия гидродинамических сил и сочетания нагрузок.

The study of hydrodynamic forces effecting submarine riser in 300 m depth in the Caspian Sea

M.E. Shahlarly
"Oil-Gas Scientific Research Design" Institute

Keywords: subsea pipeline, riser, hydrodynamic force, wave force, current strength, combination of loads.

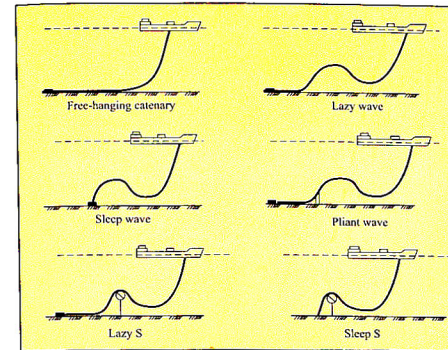
The subsea pipelines play a significant role in secure transportation of oil, gas and other energetic resources from the seabed to the shore and bases. The research of the hydrodynamic forces in the subsea pipelines and risers is a key factor from the point of view of regularity and efficiency of technological processes. The paper studies the impact of hydrodynamic forces affecting the subsea pipelines in the Caspian Sea. For diameter and thickness of pipe wall selected according to the ASME B36.10 standard, the forces of wind, wave and current, as well as the combination of forces affecting it were studied. The research was carried out in SACS computer software for three cases; as a result, the simulation and a table of force combinations for the optimum and unwanted occurrences appearing due to the impact of hydrodynamic forces and load combination were developed.

Dərin sulara yerləşən neft-qaz və digər enerji resurslarını özlülərə və sahilə təhlükəsiz nəql etməkdən ötrü istifadə olunan nəqliyyat vasitələrindən biri boru kəməridir. Tədqiqatlar göstərir ki, sualtı boru kəməri və dik borulara olan təsirlər xarici və daxili olmaqla iki yerə bölünür. Sualtı boru kəmərlərinin konstruksiyasında baş verən zədələnmə və dağılmalar müxtəlif xarici təsirlər-

dən (ankerləmə, korroziya, dalğa və axın təsiri, istismar xətaləri və s.) baş verir. Xarici amillərdən fərqli olaraq sualtı boru kəmərinin dənizin dibindən özülə qalxan hissəsində aşağı təzyiqli qazın hərəkəti zamanı, mexaniki bərk və maye hissəciklər dibə çökür. Nəticədə dik borunun dənizin dibində özülə qalxan əyriyədə tıxaclar sayəsində daralmalar baş verir ki, bu da borularda deşik və

yarıqların əmələ gəlməsinə, onların dağılmasına və sıradan çıxmasına səbəb olur.

Məqalədə dik borulara təsir edən hidrodinamik qüvvələr təhlil edilir. Ümumiyyətlə, dik borular elastik və sərt olmaqla iki növə ayrılır. Bu boruların konfigurasiyası isə hibrid dik borular adlanır. Elastik dik boruların aşağıdakı növləri var (şəkil 1) [1]: Free hanging catenary; Lazy Wave; Steep Wave; Lazy-S; Steep-S; Pliant Wave.



Şəkil 1. Elastik dik boruların konfigurasiyası

Sualtı boru kəmərləri və dik borular sistemi çoxfəzalı funksiyaları yerinə yetirir və dərin sular da enerji istismarı üçün istifadə olunur. Dik boru sisteminin funksiyaları aşağıdakılardır [1]; istismar/injeksiya, mayelərin ixracı/idخال edilməsi və ya dövriyyəsi, qazma, tamamlama.

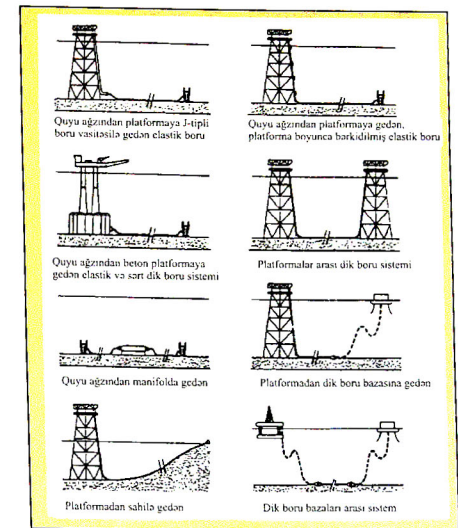
Elastik dik borular həmçinin qazma dik boruları kimi də istifadə oluna bilər [2]. Elastik axın xətləri platformalararası əlaqə, platformadan sahilə nəql üçün, terminalar, quyudan platformaya nəql üçün, sualtı quyular və quyuağzı platformalarda texnoloji istismar zamanı istifadə olunur (şəkil 2). Ümumiyyətlə, dərin sulara dik borular əsasən qazma və istismar zamanı tətbiq olunur.

Material və metod

Dik borulara təsir edən hidrodinamik qüvvə hərəkətdə olan silindr üçün modifikasiya olunmuş Morison tənliyi (1950) ilə hesablanı bilər. Hidrodinamik qüvvə aşağıdakı kimi ifadə edilə bilər [3]

$$\rho_w C_m \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial d(z,t)}{\partial t} + \frac{1}{2} \rho_w C_D (V(z,t) - d(z,t)) \times [V(z,t) - d(z,t)], \quad (1)$$

burada C_m – inersiya əmsalı; C_D – dartı əmsalı;



Şəkil 2. Sualtı boru kəmərləri və dik boruların axın konfigurasiyası sistemi

ρ_w – suyun sıxlığı; D – dik borunun xarici diametri; $V(z, t)$ – axının sürəti; $d(z, t)$ – dalğanın sürəti; $\partial d(z, t)$ – dalğanın təcilidir.

Şaquli buruda yaranan dalğa qüvvələri aşağıdakı kimidir [4]

$$F = F_D + F_I, \quad (2)$$

burada F_D , F_I – dartı və inersiya qüvvələridir (N).

Hər hansı bir obyektə təsir edən dalğaya əsasən dartı qüvvəsi aşağıdakı kimi tapıla bilər:

$$F_D = 1/2 \rho C_D V^2 A, \quad (3)$$

burada C_D – dartı əmsalı, V – obyektin sürəti, m/s, A – layihə olunan sahə, m², ρ – suyun sıxlığıdır, kq/m³.

Hər hansı bir obyektə təsir edən dalğaya əsasən inersiya qüvvəsi aşağıdakı kimi tapıla bilər:

$$F_I = \rho_a C_m V^2 / 4, \quad (4)$$

burada C_m – kütlə əmsalı; a – üfüqi maye hissəciklərinin təcili, m²/s; D – silindrin diametri, m; ρ – suyun sıxlığıdır, kq/m³.

C_D , C_m – ölçüsüz kəmiyyətlərdir və Morison bərabərliyində uyğun olaraq 0.7 və 2 qəbul edilir. API standartına əsasən hamar səthlər üçün 0.65 və 1.6 kələ-kötür səthlər üçün isə uyğun olaraq 1.05 və 1.2 götürülür.

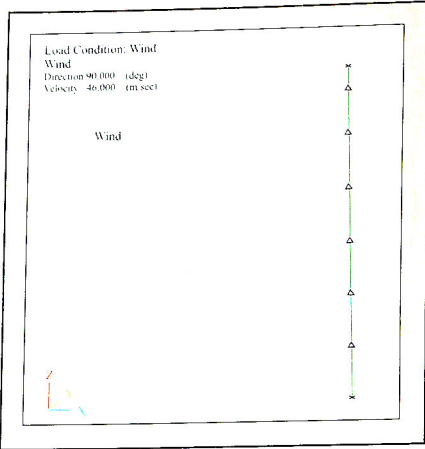
Hər hansı bir obyekt və ya əşya üzərində küləyin sürəti və yükü arasındakı əlaqəli təsir aşağıdakı düsturla hesablanır [4]

$$F = 1/2 \rho_a (V_w)^2 C_s A, \quad (5)$$

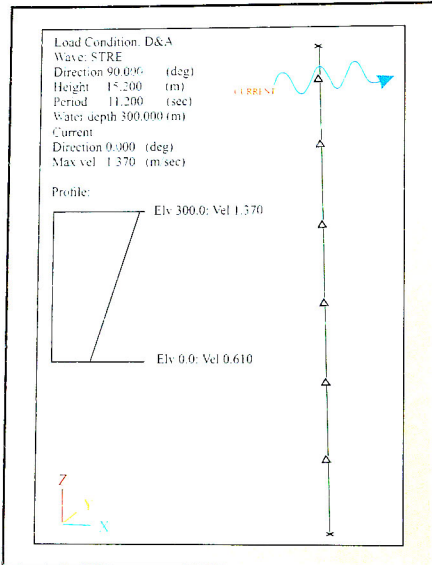
burada F – küləyin obyektə təsiri; ρ_a – havanın

sıxlığı (1.25 kg/m^3); V_w – küləyin sürəti; C_s – aerodinamik əmsaldır.

Tədqiqat obyektı. Tədqiqat obyektı Xəzər dənizi seçilmişdir. Dənizin maksimal dərinliyi 1025 m. orta dərinliyi isə 500 m-dir.

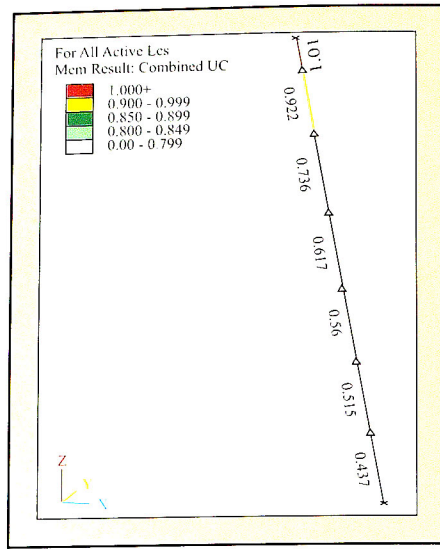


Şəkil 3. Külək yükünün vəziyyət profili

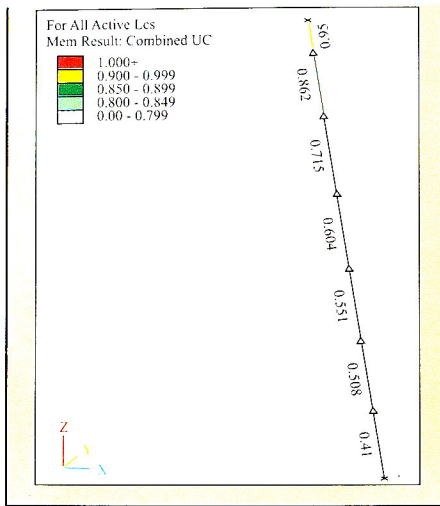


Şəkil 4. Dalğa və axın yüklərinin profili

Hesabat üçün aşağıdakı parametrlər götürülmüşdür: $H = 300 \text{ m}$ dənizin dərinliyi; boru ASME 36.10 standartına əsasən $D = 323.8 \text{ mm}$ diametrlı



Şəkil 5. 1-ci hal üçün yük birləşmələrinin təsir profili



Şəkil 6. 2-ci hal üçün yük birləşmələrinin təsir profili

dik boru; borunun divarının qalınlığı ASME 36.10 standartına əsasən uyğun olaraq 10.31, 11.13 və 12.70 mm qəbul edilmişdir.

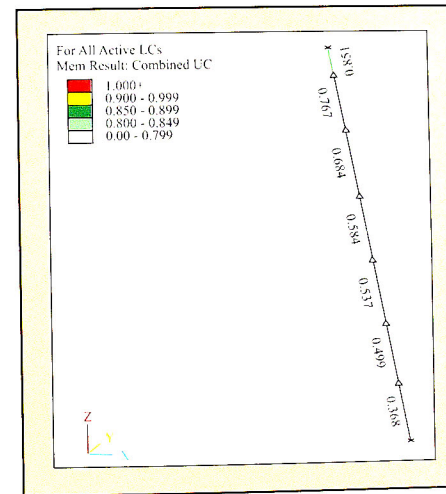
Külək yükünün vəziyyət profili (şəkil 3); $V = 46 \text{ m/s}$. Dalğa və axın yükünün təsiri və axının profili (şəkil 4). Dalğa hündürlüyü $= 15.2 \text{ m}$, $T = 11.2 \text{ s}$.

SACS proqramında aparılan hesabat üç variantda verilmişdir.

Dalğa və axın	Load Summation		Center of Force			
	Fore (kN)	Moment (kN-m)	Dir (m)	X	Y	Z
Külək	Fx=46.39	Fx=758.36	X			-78.310
	Fy=58.02	Fy=-3632.66	Y			-13.070
	Fz=	Fz=	Z			
Metal	Fx=	Fx=-42.02	X			
	Fy=	Fy=	Y			10.000
	Fz=	Fz=	Z			
Metal	Fx=	Fx=	X			
	Fy=	Fy=	Y			
	Fz=-242.30	Fz=	Z			-135.00

Cədvəl 2

Dalğa və axın	Load Summation		Center of Force			
	Fore (kN)	Moment (kN-m)	Dir (m)	X	Y	Z
Külək	Fx=46.39	Fx = 758.36	X			-78.310
	Fy=58.02	Fy = -3632.66	Y			-13.070
	Fz =	Fz =	Z			
Metal	Fx =	Fx = -42.02	X			
	Fy = 4.20	Fy =	Y			10.000
	Fz =	Fz =	Z			
Metal	Fx =	Fx =	X			
	Fy =	Fy =	Y			
	Fz = -260.87	Fz =	Z			-135.00



Şəkil 7. 3-cü hal üçün yük birləşmələrinin təsir profili

1. Variant 323.8x10.31 mm: keçməyən hal – boru qəzaya uğrayır və arzuolunmaz hallar baş verir; tətbiq olunan yüklər və yük birləşməsi: külək, dalğa-axın, metal kütlə; yük kombinasiyası = metal kütlə x 1 + külək x 1 + dalğa-axın x 1; 1-ci variant üçün analiz nəticəsi aşağıdakı simulyasiyada verilmişdir və şəkildən də görüldüyü kimi, dik borunun yuxarı hissəsində qiymət 1-dən böyükdür və 323.8x10.31 mm ölçülü boruda qəza halı müşahidə olunacaqdır (şəkil 5). 1-ci hal üçün yük birləşmələrinin nəticələri cədvəl 1-də verilmişdir.

2. Variant 323.8x11.13 mm: kritik hal – yəni dik boru istismar oluna bilər. lakin gözənlilməz hidrodinamik zərbə nəticəsində daim dağılmağa hazır vəziyyətdədir. Tətbiq olunan yüklər və yük birləşməsi: külək, dalğa-axın, metal kütlə; yük kombinasiyası = metal kütlə x 1 + külək x 1 + dalğa-axın x 1; 2-ci hal üçün verilən vəziyyət şkalının kritik qiymətlər intervalına daxildir və hidrodinamik təsirin qiyməti 0.95-dir. Yəni cüzi

Load Summation			Center of Force			
Dalğa və axın	Fore (kN)	Moment (kN-m)	Dir (m)	X	Y	Z
	$F_x=46.39$	$F_x=758.36$	X			-78.310
	$F_y=58.02$	$F_y=-3632.66$	Y			-13.070
	$F_z=$	$F_z=$	Z			
Külək	Fore (kN)	Moment (kN-m)	Dir (m)	X	Y	Z
	$F_x=$	$F_x=-42.02$	X			
	$F_y=4.20$	$F_y=$	Y			10.000
	$F_z=$	$F_z=$	Z			
Metal	Fore (kN)	Moment (kN-m)	Dir (m)	X	Y	Z
	$F_x=$	$F_x=$	X			
	$F_y=$	$F_y=$	Y			
	$F_z=-296.17$	$F_z=$	Z			-135.00

zərbələrin artımı borunun sıradan çıxmasına və fasiləsiz istismarın dayanmasına səbəb ola bilər. Bu variant götürülə bilər, lakin daimi nəzarət lazımdır və tam təhlükəsiz hesab olunmur (şəkil 6). 2-ci hal üçün yük birləşmələrinin nəticələri cədvəl 2-də verilmişdir.

3. Variant 323.8x12.70 mm: keçən hal – yəni, dik boru bu ölçülərdə Xəzər dənizinin 300 m dərinliyində tam təhlükəsiz istismar oluna bilər; təbiiq olunan yüklər və yük birləşməsi: külək, dalğa-axın, metal kütlə; yük kombinasiyası = metal

kütlə x 1 + külək x 1 + dalğa-axın x 1; 3-cü hal üçün təyin edilən analiz qiymətləri şkalanın kritik həddinə uyğun deyil və istismar üçün yararlıdır. Nəticə olaraq, 300 m dərinlikdə 323.8x12.70 ölçülü dik boru hidrodinamik zərbələrə davamlıdır. Göstəricinin maksimum qiyməti 0.851-dir (şəkil 7). 3-cü hal üçün yük birləşmələrinin nəticələri cədvəl 3-də verilmişdir.

Analizlərin nəticələri və yük kombinasiyalarının təsiri şəkil və cədvəllərdə verilmişdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Bai Y, Bai Q. Subsea pipelines and risers, Chapter 22, 2nd ed. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd; 2005.
2. Berge S, Olufsen A. Handbook on design and operation of flexible pipes. Trondheim, Norway: SINTEF Report STF70. A92006; 1992.
3. Modeling and Identification of the Restoring Force of a Marine Riser.
4. Mohamed Abdallah El-Reedy, Offshore Structures: Design, Construction and Maintenance.

References

1. Bai Y, Bai Q. Subsea pipelines and risers, Chapter 22, 2nd ed. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd; 2005.
2. Berge S, Olufsen A. Handbook on design and operation of flexible pipes. Trondheim, Norway: SINTEF Report STF70. A92006; 1992.
3. Modeling and Identification of the Restoring Force of a Marine Riser.
4. Mohamed Abdallah El-Reedy, Offshore Structures: Design, Construction and Maintenance.