

UOT 624.0142(07)

HƏSƏNOV E.E., ƏLƏKBƏROV A.H.

AzMIU

elgiz-etf@mail.ru, alakbarovakshin@hotmail.com

DƏNİZ MÜHİTİNDƏ QAZMA BORUSUNUN VƏ TƏK SVAY DAYAĞININ DALĞANIN YEKUN TƏZYİQ QÜVVƏSİNİN TƏSİRİNDƏN MÖHKƏMLİYƏ YOXLANILMA ŞƏRTLƏRİ

Dəniz mühitində üzən qazma qurğuları karbohidrogenlə zəngin yataqların aşkarlanması üçün geoloji kəşfiyyat işləri aparırlar. Həmin işlər qazma qurğusunun döşəmə səviyyəsindən başlayaraq dənizin dibi ilə əlaqələndirilən qazma borusu vasitəsilə həyata keçirilir. Dəniz dibindən kilometrərlə dərinliklərdə yerləşən karbohidrogen yataqlarına çatmaq üçün əvvəlcə müxtəlif və əlverişli metodlarla qazma işləri aparılır, sonra isə qazma boruları dərinliklər boyu yerləşdirilir. Qazma və boruların yerləşdirilmə prosesləri, uzun müddətli və çətin iş şəraitlərində baş verdiyindən, qazma borularının güclü külək, dəniz səthindən başlayaraq dalğa və sualtı axının təsirlərinə məruz qalması qaçılmaz olur. Hətta dənizdə böyük dalğaların, fırtına və qasırğaların, fırtına və qasırğaların yarandığı dövrlərdə qazma işləri dayandırılma da qazma boruları qeyd edilən həmin təhlükəli təsirlərə məruz qalırlar. Çünki, dənizdə külək-dalğa hadisələri elə gözlənilməz vaxtlarda başlayır və nə qədər davam etməsini müəyyənləşdirmək çətin olur, qazma borusu ilə dəniz dibindəki əlaqəni kəsmək mümkün olmur. Ona görə də qazma borusunu dalğa təzyiqinin maksimal təsir qüvvəsinə görə möhkəmliyə yoxlamaq lazım gəlir.

Dalğanın D xarici diametri qazma borusuna sürət basqısının və inersiya təzyiqinin birgə təsirindən üfüqi istiqamətdə yönələn təzyiq yükünü dərinlik boyunca aşağıdakı düsturla tapmaq olar [1, s.91]:

$$P_y = \frac{\gamma}{2g} D \left[C_\varphi (v_y + \psi_1 u)^2 + \frac{1}{4} \pi k D w_y \right] \quad (1)$$

burada γ – dəniz suyunun həcmi çəkisi:

$$\gamma = 1.01 \frac{t \cdot q}{m^3}; C_\varphi - \text{dalğa axınının qazma borusuna toxunub keçmə əmsəlidir və}$$

$$C_\varphi = 0,4 \div 0,43 \text{ intervalında dəyişir; } \psi_1 - \text{da}$$

$$\text{şıman dalğa axını üçün sürət əmsəli: } \psi_1 = \frac{1}{3};$$

$$k - \text{dalğa axınının inersiya təcili əmsəli:}$$

$$k = 1,5 \div 2 = 1,8; v_y - \text{orbital hərəkətdə dal}$$

$$\text{ğa hissəciyinin sürətinin } y \text{ (üfüqi) oxa pro}$$

$$\text{yeksiyası olub, aşağıdakı düsturla hesabla}$$

nır:

$$v_y = \psi = \frac{\pi r}{T} \cos \theta, \quad (2)$$

ψ – dərinlik üzrə (x oxu boyunca) sürətin üfüqi toplananına düzəliş əmsəli:

$$\psi = 1 - 0,25 \left(\frac{x}{H'} \right)^2, \quad (3)$$

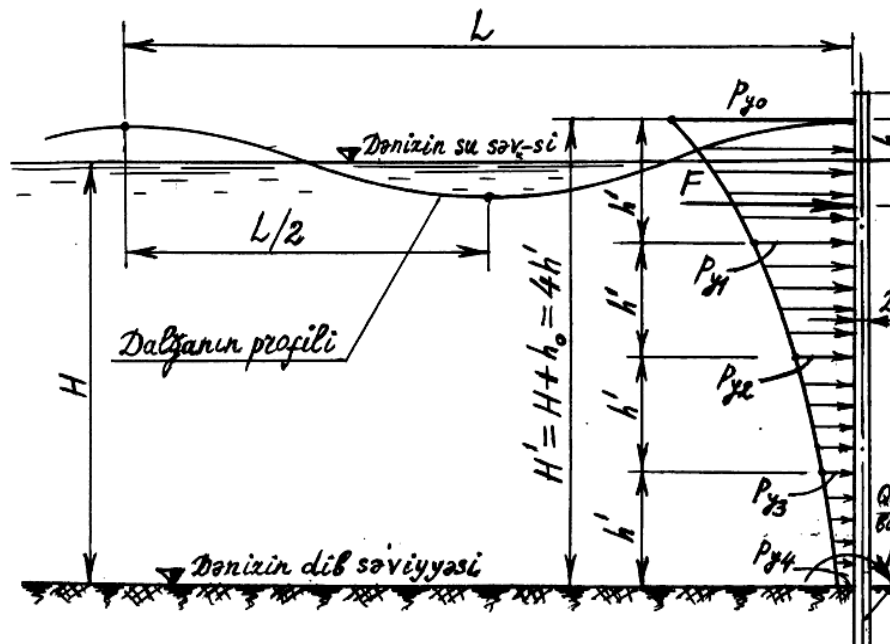
H' – dalğanın qazma borusuna qalxma halında ($\theta=0^\circ$ faza bucağı vəziyyətində) dənizin dibindəki olan dərinlik [4]:

$$H' = H + h_0$$

H – dənizin dərinliyi; h_0 – dənizin sakit su səviyyəsindən qazma borusunun ön səthinə qalxma hündürlüyü (şəkil 1).

r – dalğanın ellips formalı orbital hərəkətində böyük yarımox olub, aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$r = h_0 \frac{ch \frac{2\pi(H' - x)}{L}}{sh \frac{2\pi H'}{L}} \quad (4)$$



Şəkil 1. Qazma borusunun dəniz mühitində dalğa təsirində hesablanma sxemi.

L – dalğa uzunluğu; T – dalğanın dənizin sakit su səviyyəsi xətti üzrə yayılma periodu olub, dənizin dərinliyindən (H) və dalğanın uzunluğundan (L) asılı olaraq aşağıdakı düsturla hesablanır [1, s.110]:

$$T = \sqrt{\frac{\pi L}{2g} \operatorname{ch} t \frac{2\pi H}{L}} \quad (5)$$

u – dalğa təsirindən daşınan axının dərinlik (H') boyunca paylanan üfuqi sürətidir və dalğanın qalxma hündürlüyündən (h_0), təsir zonası üzrə dərinliyindən (H), həmçinin uzunluğundan (L) asılı olaraq təyin olunur:

$$u = \left(\frac{2\pi h_0}{L} \right)^2 C \frac{\operatorname{ch} \frac{4\pi(H'-x)}{L}}{2sh^2 \frac{2\pi H'}{L}} \quad (6)$$

C – dalğalanan su kütləsinin yayılma sürəti olub, dalğanın uzunluğuna (L) və qalxma hündürlüyünə (h_0) görə hesablanır;

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \left[1 + \left(\frac{2\pi h_0}{L} \right)^2 \right]} \quad (7)$$

w_y – daşınan su hissəciyinin hərəkət təcili olub, aşağıdakı kimi hesablanır:

$$w_y = \psi \left(\frac{\pi r}{T} \right)^2 r \cos \theta = \frac{\pi}{T} v_y \quad (8)$$

Qazma borusuna təsir göstərən dalğanın təzyiq yükü qüvvəsinin və dəniz dibində sərt bərkidilmə vəziyyətinə nəzərən həmin qüvvənin yaratmış olduğu momentin qiymətlərinin Simpson qaydasından istifadə etməklə, müvafiq olaraq aşağıdakı düsturlarla hesablamaq olar [1, s.99]:

$$F = \frac{1}{3} h' (Py_0 + 4Py_1 + 2Py_2 + 4Py_3 + Py_4) \quad (9)$$

$$M = \frac{1}{3} h' (Py_0 h_0 + 4Py_1 h_1 + 2Py_2 h_2 + 4Py_3 h_3 + Py_4 h_4) \quad (10)$$

burada:

$$h_1 = \frac{3}{4} H'; h_2 = \frac{1}{2} H'; h_3 = \frac{1}{4} H'; h_4 = 0 \quad (11)$$

(11) ifadələrini (10) düsturunda yerinə yazsaq, alarıq:

$$M = \frac{I}{2} (H')^2 (Py_0 + 3Py_1 + Py_2 + Py_3) \quad (12)$$

Dalğanın qazma borusuna yekun təzyiqli qüvvəsinin tətbiq nöqtəsinin dəniz dibindən yerləşmə məsafəsi bu qüvvənin dənizin dib səviyyəsinə nəzərən qolu olduğundan, aşağıdakı kimi təyin olunur [1,s.118]:

$$h_F = \frac{M}{F} \quad (13)$$

Qazma borusunun yuxarı ucunda qazmanı həyata keçirən rotora yerdəyişməli sərt, dənizin dibinə isə sərt bərkidilməsini nəzərə alaraq, tərtib edilmiş hesablama sxemində bu boruya dənizin dibindən h_F hündürlüyündə dalğa yükünü əvəzləyən F təzyiqli qüvvəsi təsir göstərir (şəkil 2). Dəniz səthində dalğa təsirindən dreyf axınının təzyiqli şəkil 1-dən görüldüyü kimi maksimal qiymət alır. Fırtına yaradan küləklərin əsməsi dövründə P_y təzyiqlərinin hər biri özünün ən böyük qiymətini alır və bunlardan Py_0 dreyf dalğasının təzyiqli yükü kimi maksimal qiymətə malik olub, (1) düsturuna əsasən aşağıdakı kimi tapılır:

$$P_{d,max} = \frac{\gamma}{2g} D \left[C_\varphi (v_{d,max} + \psi_1 u_{d,max})^2 + \frac{1}{4} \pi k D_{wd,max} \right] \quad (14)$$

Onda bu dalğa təzyiqlinin dərinlik boyunca təsirini əvəzləyən yekun qüvvə maksimal qiymət olaraq, simpson qaydasından

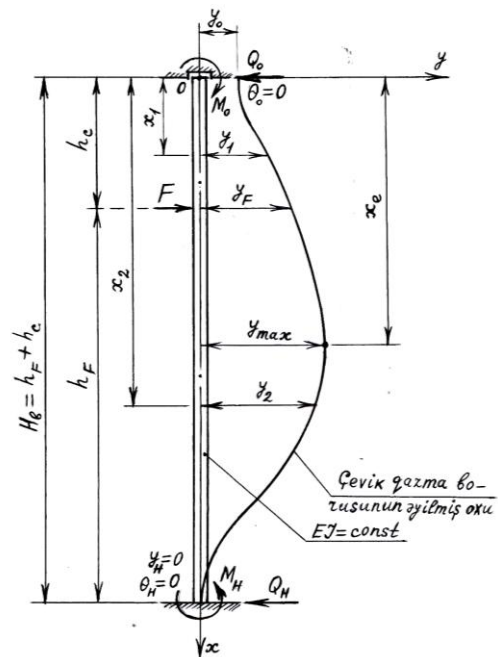
$$v_{d,max} = \sqrt{\frac{2g}{C_\varphi \gamma D} \left[\frac{3F_{max}}{h} - 4(P_{d,1} + P_{d,3}) - 2P_{d,2} - P_{d,4} \right]} - \frac{1}{4} \frac{\pi k}{C_\varphi} w_{d,max} - \psi_1 u_{d,max} \quad (16)$$

(3.1.15)ifadəsində dərinlik boyunca fırtına dalğasının təzyiqli yükünün xarakterik kəsiklərdə qiymətləri əvvəlcədən məlum olmazsa, dalğanın məlum və dəyişməyən parametrlərinə (h_0 və L) görə həmin təzyiqli

istifadə etməklə, (9) düsturu ilə aşağıdakı kimi hesablanabilir:

$$F_{max} = \frac{I}{3} h' (P_{d,max} + 4P_{d,1} + 2P_{d,2} + 4P_{d,3} + P_{d,4}) \quad (15)$$

Burada: P_{di} - dərinlik boyunca xarakterik səviyyələrdə fırtına dalğasının təzyiqlərinin qeydə alınan qiymətləridir.



Şəkil 2. Çevik qazma borusu oxunun əyilməyə hesablama sxemi

(14) ifadəsini (15) düsturunda yerinə yazaraq, dreyf dalğasının maksimal sürətini ($v_{d,max}$) tapsaq, alarıq:

yüklərinin ordinatının hündürlüyü yerləşmə mövqelərinin saxlanması ilə eyni dəfə artması halında maksimal təzyiqli yükü qüvvəsinin qiymətini (F_{max}) tapmaq olduqca önəmlidir. Ona görə də bu şərtlər əsasında F_{max}

qüvvəsini tapmaq üçün şəkil 2-də tərtib olunmuş hesablamə sxemindən istifadə etməklə, çevik qazma borusunun mərkəzi oxunun əyintisinin tənliyini əldə etmək lazımdır.

Hesablama sxemindən görüldüyü kimi qazma borusunun yuxarı ucundakı yerdəyişməli sərt dayağın reaksiya qüvvələri olan üfüqi Q_0 qüvvəsi, əyici M_0 momenti məchul olur, dönmə bucağı $\theta_0=0$ qiymətini alır və borunun bu ucu üfüqi istiqamətdə yerdeyişmə edir ($y_0=0$). Qazma borusunun aşağı ucu dənizin dibinə sərt bərkidildiği üçün bu səviyyədə M_h və Q_h dayağ reaksiyaları məchul, əyinti və dönmə bucağı isə sıfıra bərabər olur ($y_H=0$; $\theta_H=0$). Borunun əyilmiş oxunun tənliyini almaq üçün M_0 , Q_0 , M_H və Q_H dörd ədəd məchul parametrdən ikisini (M_0 və Q_0) əvvəlcədən tapmaq lazımdır. Qazma borusuna boyuna istiqamətdə qüvvə təsir etmədiyindən (olduqca kicik qiymətə malik olduğu üçün nəzərdən atıla bildiyindən) statikanın tətbiqi əhəmiyyətə malik olan iki müvazinət tənliyindən əlavə digər iki ($\sum y = 0$; $\sum M = 0$) tənlikdən də istifadə olunmasına ehtiyac vardır [2]. Ona görə də məsələ statik həll olunmayıdır. M_0 və Q_0 məchul parametrlərini tapmaq üçün inşaat mexanikasının yerdəyişmələr üsulunun iki ədəd kanonik tənlikdən istifadə etmək olar [3]:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1F} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2F} &= 0 \end{aligned} \right\} (17)$$

Burada: X_1 və X_2 məchul parametrlər olub, bir kəsici qüvvə, bir əyici moment; yaxud iki əyici moment kimi götürülür; $\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}$ və δ_{22} - vahid yaxud momentə görə qurulmuş əyici moment epürlərindən birinin sahəsinin digərinin ağırlıq mərkəzindəki ordinatına vurulması ilə tapılan yerdəyişmələr; Δ_{1F}, Δ_{2F} - vahid qüvvəyə, yaxud momentə görə qurulan əyici moment epürlərindən müvafiq olan birinin sahəsinin, F qüvvəsinin təsirindən qurulmuş əyici momentin epürünün baxılan hissəsi üzrə ağırlıq mərkəzinin ordi-

natına vurulma yolu ilə tapılan yerdəyişmələrdir.

X_2 məchulunun ifadəsi yerdəyişməli - sərt dayağın reaksiya momentinin qiymətini verir [3]:

$$M_0 = -X_1 = \frac{F_{hc} h_F^2}{H_b^2} \quad (18)$$

X_1 - məchulunun ifadəsi isə həmin dayağın üfüqi reaksiya qüvvəsinin qiymətini verir:

$$Q_0 = X_1 = \frac{F_{hc} h_F^2}{H_b^2} (H_b + 2h_c) \quad (19)$$

Bütün qüvvələrin üfüqi oxa (y) proyeksiyaları cəminin sıfıra bərabər olma şərtindən (şəkil 2) sərt dayağın üfüqi reaksiya qüvvəsi (Q_H) tapılır:

$$\Sigma y = F - Q_0 - Q_H = 0$$

$$\begin{aligned} Q_H = F - Q_0 = F &= \left[1 - \frac{1}{Hb^3} h_F^2 (H_b + 2h_c) \right] = \\ &= \frac{F}{Hb^3} (h_F + h_c)^3 - h_F^2 (h_F + 3h_c) = \\ &= \frac{F}{H_b^3} (h_F^3 + 3h_F^2 h_c + 3h_F h_c^2 + h_c^3 - h_F^3 - 3h_F^2 h_c) \\ &= \frac{F}{H_b^3} (h_c^3 + 3h_F h_c^2) = \frac{F h_c^2}{H_b^3} (H_b + 2h_F) = \\ Q_H &= \frac{F h_c^2}{H_b^3} \cdot (H_b + 2h_F) \quad (20) \end{aligned}$$

Sərt dayaqdakı məchul reaksiya momentini (M_H) tapmaq üçün şəkil 2-də göstərilən sxemə əsasən "O" nəzərdən momentlər cəminin sıfıra bərabər olma şərtindən istifadə olunur:

$$\Sigma M_0 = M_0 - F h_c + Q_H H_b - M_H = 0;$$

$$M_H = M_0 - F h_c + Q_H H_b = F h_c h_F^2 \cdot \frac{1}{H_b^2} -$$

$$- F h_c + F h_c^2 \cdot \frac{1}{H_b^2} (H_b + 2h_F) =$$

$$\begin{aligned}
 &= Fh_c \left[\left(\frac{h_F}{H_b} \right)^2 + (H_b + 2h_F) - 1 \right] = \\
 &= \frac{Fh_c}{H_b^2} \left[h_F^2 + h_c(h_c + 3h_F) - \right. \\
 &\quad \left. -(h_F + h_c)^2 \right] = \frac{Fh_c h_F}{H_b^2} \\
 &\quad M_H = \frac{Fh_c^{2h_F}}{H_b^2}
 \end{aligned} \quad (21)$$

Şəkil 2-dən görüldüyü kimi qazma borusunun elastiki oxunun əyintisinin tənliyini dərinlik üzrə iki məntəqədə olmaq lazımdır [2].

$0 \leq x_1 \leq h_c$ olduqda,

$$\begin{aligned}
 y_1 &= y_o + \frac{1}{EJ} \left(M_o \cdot \frac{x_1^2}{2} - Q_o \cdot \frac{x_1^3}{6} \right) = \\
 &= y_o + \frac{1}{2} EJ \left(M_o - \frac{1}{3} Q_o \right) x_1^2
 \end{aligned} \quad (22)$$

$h_c \leq x_2 \leq H_b$ olduqda isə

$$\begin{aligned}
 y_2 &= y_o + \frac{1}{EJ} \left[M_o \cdot \frac{x_2^2}{2} - Q_o \cdot \frac{x_2^3}{6} + \right. \\
 &\quad \left. + F \frac{(x_2 - h_c)^3}{6} \right] = y_o + \frac{1}{2EJ} \times \\
 &\quad \times \left[\left(M_o - \frac{1}{3} Q_o x_2 \right) x_2^2 + \frac{1}{3} F (x_2 - h_c)^3 \right]
 \end{aligned}$$

θ_0 integral sabitinin sıfıra bərabər olduğu ($\theta_0=0$) nəzərə alınmışdır. Çünki, qazma borusunun yuxarı ucu yerdəyişməli – sərt bərkidildiyindən həm dayaqda boru oxunun dönmə sıfıra bərabər olur. Qazma borusunun aşağı ucu isə sərt bərkidildiyindən bu dayaqda əyinti və dönmə bucağı sıfıra bərabər olur ($y_H=0$ və $\theta_H=0$). Ona görə də (23) tənliyində $x_2=H_b$ olduqda, $y_2=y_H=0$ şərtini nəzərə almaqla, qazma borusunun elastiki oxunun yuxarı ucundakı əyintisini (y_0) tapmaq olar:

$$\begin{aligned}
 y_H &= y_o + \frac{1}{2EJ} \left(M_o - \frac{1}{3} Q_o H_b \right) \times \\
 &\quad H_b^2 + \frac{1}{3} F (H_b - h_c)^3 = 0 \\
 y_o &= -\frac{1}{2EJ} \left[\left(M_o - \frac{1}{3} Q_o H_b \right) H_b^2 + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{3} F (H_b - h_c)^3 \right] = 0
 \end{aligned} \quad (24)$$

Qazma borusunun əyintisinin maksimal qiymət alması dərinliyin $h_c \leq x_2 \leq H_b$ həddlərində dəyişmə vəziyyətlərindən birində gözlənilirş ona görə də əyintinin (23) tənliyindən x_2 -yə görə birinci tərtib törəməsini alıb sıfıra bərabər etmək lazımdır;

$$\begin{aligned}
 y_2' &= \frac{1}{EJ} \left[M_o x_2 - \frac{1}{2} Q_o x_2^2 + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{2} F (x_2 - h_c)^2 \right] = 0 \\
 (F - Q_o) x_2^2 + 2(M_o - F h_c) x_2 + F h_c^2 &= 0.
 \end{aligned} \quad (25)$$

(25) kvadrat tənliyinin həllindən alırıq:

$$\begin{aligned}
 x_2 = x_e &= \frac{1}{F - Q_o} \left[-(M_o - F h_c) + \right. \\
 &\quad \left. + \sqrt{(M_o - F h_c)^2 - F h_c^2 (F - Q_o)} \right]
 \end{aligned} \quad (26)$$

(26) ifadəsinin (23)-də yerinə yazılması ilə əyintinin maksimal qiyməti tapılır.

Təcrübələr göstərir ki, qazma və neft-qaz çıxarma boruları daha çox yerdəyişməli – sərt bərkidildiği yuxarı ucunun yaxınlığında əyilmələrə məruz qalırlar. Çünki, bu boruların yuxarı ucu qeyol edildiği kimi bərkidildiyindən həmin kəsikdə dönməsi maksimum məhdudlaşdırılır və aşağıya doğru dalğanın güclü zərbəsindən sonra ən böyük əyilmə problemləri qaçılmaz olur. Ona görə də boruların, yaxud boru kəmərlərinin əyil-

məsində möhkəmlik şərtlərindən biri onların oxlarının minimal əyilmə radiusunun (R_{min}) borusunun xarici diametrinin (D) beş mislinə bərabər olmasıdır [5, s.55]:

$$R_{min} = 5D \quad (27)$$

Təklif olunur ki, qazma borusunun mərkəzi oxunun əyilmə xəttinin vahid (1,0 m) uzunluqlu vətər xətti ilə əyilməsinin mərkəzini üfüqi istiqamətdə birləşdirən məsafələrin həm həndəsi yolla tapılmış, həm də faktiki deformasiyaya uğrama yolu ilə tapılan qiymətləri müqayisə olunsun. Həndəsi yolla tapılan $\Delta y_{lh}(h_m)$ yerdəyişməsi, faktiki deformasiyaya uğrama yolu ilə tapılmış $\Delta y_{lf}(h_m)$ yerdəyişməsindən əyilməyə görə möhkəmlik şərtinə əsasən böyük bərabər olmalıdır [6; 7]:

$$\Delta y_{lh}(h_m) \geq \Delta y_{lf}(h_m) \quad (28)$$

burada: h_m – qazma borusunun baxılan hissəsində əyilmiş oxunun mərkəzi nöqtəsinin yuxarı ucundan yerləşmə dərinliyi (şəkil 3):

$$h_m = R_{min} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (29)$$

α – qeyd edilən vahid uzunluqlu vətərin R_{min} radiusları ilə əhatə olunma bucağı

$$2R_{min} \sin \frac{\alpha}{2} = 1; \alpha = 2 \arcsin \frac{1}{2R_{min}} \quad (30)$$

Onda qazma borusunun mərkəzi oxunun əyilməsinin vahid uzunluqlu vətərinin yuxarı ucundan yerləşmə məsafəsi aşağıdakı kimi tapılır:

$$h_v = R_{min} \sin \alpha \quad (31)$$

$\Delta y_{lh}(h_m)$ yerdəyişməsinə aşağıdakı şəkildə tapmaq olar:

$$\begin{aligned} \Delta y_{lh}(h_m) &= \frac{R_{min} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \\ &= R_{min} \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) \end{aligned} \quad (32)$$

$\Delta y_{lf}(h_m)$ yerdəyişməsinə isə şəkil 3-dəki hesablama sxemində düzbucaqlı üçbucaqların oxşarlığı qanunu ilə təyin etmək mümkündür:

$$\begin{aligned} \frac{y_l(h_v) - y_o}{y_l(h_m) - y_o + \Delta y_{lf}(h_m)} &= \frac{h_v}{h_m} \\ \Delta y_{lf}(h_m) &= \frac{h_m}{h_v} [y_l(h_v) - y_o] - \\ &- y_l(h_m) + y_o \end{aligned} \quad (33)$$

(32) və (33) düsturları ilə tapılan yerdəyişmələr (28) şərtində nəzərə alındıqda, qazma borusunun əyilmədə möhkəmliyini saxlayıb-saxlamadığı müəyyənləşdirmək mümkündür.

Şəkil 3-də göstərilən hesablama sxemindən, (32) və (33) düsturlarından, $y_{lf}(h_m) = y_{lh}(h_m)$ şərtindən istifadə edərək dalğanın qazma borusuna göstərdiyi təzyiqli yükünün təsirindən yaranan maksimal dağıdıcı qüvvənin (F_{max}) qiymətini tapmaq olar. Belə ki, qeyd edilən şərt qazma borunun yuxarı ucundan h_m dərinliyində maksimal əyilməsinin gözləndiyi F_{max} qüvvəsinin təsirindən $y_{lf}(h_m)$ faktiki əyintisinin, həndəsi yolla həmin dərinlikdə tapılan $y_{lh}(h_m)$ əyintisinə bərabər olmasıdır. (32) düsturunda $x_l = h_m$ yazmaqda $y_{lf}(h_m)$ əyintisi aşağıdakı kimi tapıla bilər:

$$y_{lf}(h_m) = y_o m + \frac{h_m^2}{2EJ} \left(M_o m - \frac{1}{3} Q_o h_m \right) \quad (34)$$

burada: M_{om} və Q_{om} – qazma borusuna F_{max} qüvvəsi təsir etdikdə, onun yuxarı ucu səviyyəsində yerdəyişməli-sərt dayağın reaksiya momenti və reaksiya qüvvəsi olub, müvafiq olaraq (18) və (19) düsturlarına $F=F_{max}$ yazmaqla, aşağıdakı ifadələrlə hesablanır:

$$M_{om} = \frac{F_{max} h_c h_F^2}{H_b^2}; \quad (35)$$

$$Q_{om} = \frac{F_{max} h_F^2}{H_b^3} (H_b + 2h_c)$$

y_{om} – həmin F_{ma} qüvvəsi təsir göstərdikdə qazma borusunun yuxarı ucunun əyintisidir və (34) düsturunda $M_0 = M_{om}$, $Q_0 = Q_{om}$ və $F=F_{max}$ yazmaqla, həmçinin (35) ifadələrini nəzərə almaqla aşağıdakı düsturla hesablamaq mümkündür:

$$y_{om} = \frac{1}{2EJ} \left\{ \left[\frac{1}{3} \frac{F_{max} h_F^2}{H_b^3} (H_b + 2h_c) H_b - \frac{F_{max} h_c h_F^2}{H_b^2} \right] H_b^2 - \frac{1}{3} F_{max} h_F^3 \right\} = \frac{F_{max} h_F^2 h_c}{3EJ} \quad (36)$$

(35) ifadəsini (34) -də yerinə yazdıqda, alırıq:

$$y_{lf}(h_m) = y_{om} + F_{max} \cdot \frac{h_m^2}{2EJ} \cdot \left(\frac{h_F}{H_b} \right)^2 \times \left[h_c - \frac{1}{3} \left(1 + 2 \frac{h_c}{H_b} \right) h_m \right] \quad (37)$$

Şəkil 3-də göstərilən sxem üzrə həndəsi yolla $y_{lh}(h_m)$ əyintisini tapmaq üçün əvvəlcə h_v h_v dərinliyində olan əyintini tapmaq:

$$y_{lm}(h_v) = y_{om} + \frac{h_v^2}{2EJ} \left(M_{om} - \frac{1}{3} Q_{om} h_v \right) =$$

$$F_{max} = \frac{2EJ \cdot \left(\frac{H_b}{h_F} \right)^2 \cdot \frac{R_{min}}{h_m} \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)}{h_m \left[h_c - \frac{1}{3} \left(1 + 2 \frac{h_c}{H_b} \right) h_m \right] - h_v \left[h_c - \frac{1}{3} \left(1 + 2 \frac{h_c}{H_b} \right) h_v \right]} \quad (41)$$

$$= y_{om} + F_{max} \cdot \frac{h_v^2}{2EJ} \cdot \left(\frac{h_F}{H_b} \right)^2 \times \left[h_c - \frac{1}{3} \left(1 + 2 \frac{h_c}{H_b} \right) h_v \right] \quad (38)$$

Düzbucaqlı üçbucaqların oxşarlığı qanunundan, (32) və (38) ifadələrindən istifadə etməklə, $y_{lh}(h_m)$ əyintisi həndəsi yolla aşağıdakı kimi tapılır:

$$y_{lh}(h_m) = y_{om} + \frac{h_m}{h_y} [y_{lm}(h_v) - y_{om}] - \Delta y_{lh}(h_m) = y_{om} + F_{max} \cdot \frac{h_m h_v}{2EJ} \cdot \left(\frac{h_F}{H_b} \right)^2 \times \left[h_c - \frac{1}{3} \left(1 + 2 \frac{h_c}{H_b} \right) h_v \right] - R_{min} \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) \quad (39)$$

(37) və (39) ifadələrinin sol tərəflərinin bərabərlik şərtindən aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$F_{max} \frac{h_m^2}{2EJ} \cdot \left(\frac{h_F}{H_b} \right)^2 \left[\left(h_c - \frac{1}{3} \left(1 + 2 \frac{h_c}{H_b} \right) h_m \right) \right] = F_{max} \cdot \frac{h_m h_v}{2EJ} \cdot \left(\frac{h_F}{H_b} \right)^2 \left[h_c - \frac{1}{3} \left(1 + 2 \frac{h_c}{H_b} \right) h_v \right] - R_{min} \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) \quad (40)$$

Müəyyən riyazi çevirmələr və əməliyyatlar apardıqdan sonra (40) tənliyindən F_{max} qüvvəsi aşağıdakı düsturla tapıla bilər:

(41) düsturu ilə dalğanın $D = 0,2R_{min}$ xarici diametrinə malik olan qazma borusuna göstərdiyi maksimal təzyiq qüvvəsi tapıldıqdan sonra, (16) düsturu ilə dreyf dalğasının maksimal sürəti təyin edilə bilər ki, bu da küləyin dəniz səthində maksimal əsmə sürətini tapmağa imkan verəcəkdir.

Təklif olunan bu hesablama metodikasının digər üstünlüyü ondan ibarətdir ki, dəniz estakadalarının tək svay dayaqlarının dalğa yükü təsirindən boyunca eninə əyilməyə və dayanıqlığa hesablamaq mümkündür. Eləcə də estakadaların metal boru materiallarından olan çevik svay dayaqlarını bu metodika ilə əyilməyə görə möhkəmliyə yoxlamaq olar (boyunu qüvvənin təsirini nəzərə almaqla). Konsol və svay-dirək tipli dərin salınan çevik konstruksiyaların bu metodika ilə qeyd edilən hesablamalarının aparılması olduqca əlverişlidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Mürsəlov A.Ə. "Hidrotexniki qurğuların tədqiqində modelləşdirmə məsələləri" nə dair metodiki vəsait. Bakı, "Politex" MMC-nin mətbəəsi, 2016, 128 s.
2. Sadıqov İ.R. Materiallar müqaviməti. Bakı, "Təhsil" NPM, 2013, 640 s.
3. İsayev Ə.M., Məmmədsadıqov H.H. İnşaat mexanikası. Bakı, "Çaşıoğlu" nəşriyyatı, 2010, 498 s.
4. Abasov R.F., Məmmədov K.M., Musayev Z.S. Dəniz hidrotexniki qurğuları, neftin, qazın saxlanması və nəqli. Bakı, ARDNŞ-nin Mərkəzləşdirilmiş Mətbəəsi, 2010, 448 s.
5. Məmmədov K.M., Musayev Z.S., Mürsəlov A.Ə., Məmmədova V.V. Nefti yığılan, nəql edən mühəndis qurğuları və avadanlıqları. Bakı, "Təhsil" NPM, 2009, 212 s.
6. Ağayev N.H., Zeynalov L.M. Metal konstruksiyaları. Bakı, "Təhsil" NPM, 2008, 388 s.

7. СН и П 2.04.12.-86. Расчет на прочность стальных трубопроводов.

Həsənov E.E., Ələkbərov A.H.

elgiz-etf@mail.ru,
alakbarovakshin@hotmail.com

Dəniz mühitində qazma borusunun və tək svay dayaqının dalğanın yekun təzyiq qüvvəsinin təsirindən möhkəmliyə yoxlanılma şərtləri

XÜLASƏ

Dənizin dərin akvatoriyalarında neft və qazın çıxarılması üçün dəniz dibindən karbohidrogen yatağına endirilən qazma borusu külək-dalğa təsirinə məruz qalır. Qazma borusuna təsir göstərən dalğanın təzyiq yükü onun maksimal qalxma hündürlüyündə boruya çıxılma nöqtəsindən dənizin dibinədək sürət basqısı və inersiya təzyiqinin cəmi kimi tapılmışdır. Simpson qaydasından istifadə edərək dalğanın dərinlik boyunca təzyiq yükünü əvəzləyən təsir qüvvəsinin və bu qüvvənin dəniz dibində yaratdığı əyici momentin ifadələri alınmışdır. Qazma borusunun yuxarı ucunun yerdəyişməli, aşağı ucunun isə mütləq sərt bərkidildiyini nəzərə alaraq, inşaat mexanikasının mövcud qaydaları əsasında borunun həmin uclarında dayaq reaksiyaları tapılmışdır. Metal borunun maksimal əyilmə şərtinə əsasən möhkəmliyə yoxlanılması mümkün olmuş və bu əyilməni yaradan qüvvənin maksimum qiymətini tapmaq üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edən zəruri düstur alınmışdır.

Açar sözlər: *qazma borusu, dalğanın təzyiq yükü, minimal əyilmə radiusu, əyilməyə görə möhkəmlilik şərti, maksimal dağıdıcı qüvvə, dalğanın orbital hərəkət sürəti.*

Нәсәнов Е.Е., Әләкбәров А.Н.

elgiz-etf@mail.ru,
alakbarovakshin@hotmail.com

**Условия испытания прочности
бурильной трубы и одиночной сваи
под воздействием конечного волнового
давления в морской среде**

АБСТРАКТ

Для добычи нефти и газа в глубоких морских акваториях буровая труба, опускаемая с морского дна на углеводородное месторождение, подвергается ветроволно-волновому воздействию. Нагрузка давления волны, действующей на буровую трубу, определяется как сумма давления скорости и давления инерции от точки, где она врезается в трубу на максимальной высоте подъема, до морского дна. Используя правило Симпсона, были получены выражения ударной силы волны, которая компенсирует нагрузку давления на глубину, и изгибающего момента, создаваемого этой силой на морском дне.

Учитывая, что верхний конец буровой трубы должен быть смещен, а нижний конец обязательно жестко закреплен, реакции опоры были обнаружены на этих концах трубы в соответствии с действующими правилами строительной механики. Стала возможной проверка металлической трубы на прочность по условию максимального изгиба, и была получена необходимая формула, имеющая особое значение для нахождения максимального значения силы, порождающей этот изгиб.

Ключевые слова: буровая труба, напорная нагрузка волны, минимальный радиус изгиба, условие прочности на из-

гиб, максимальная разрушающая сила, скорость орбитального движения волны.

Нәсәнов Е.Е., Әләкбәров А.Н.

Conditions for testing the strength of drill pipe and single pile support under the influence of the final wave pressure force in the marine environment

SUMMARY

For oil and gas extraction in deep sea areas, the drill pipe lowered from the seabed to the hydrocarbon deposit is exposed to wind and wave action. The wave pressure load acting on the drill pipe is determined as the sum of the velocity pressure and the inertia pressure from the point where it strikes the pipe at its maximum height to the seabed. Using Simpson's rule, expressions have been derived for the wave impact force that compensates for the depth pressure load and the bending moment generated by this force at the seabed.

Given that the upper end of the drill pipe must be displaced, and the lower end must be rigidly fixed, the support reactions were detected at these ends of the pipe in accordance with the current rules of structural mechanics. It became possible to test the metal pipe for strength based on the maximum bending condition, and the necessary formula was obtained, which is particularly important for finding the maximum value of the force that causes this bending.

Keywords: drill pipe, wave pressure load, minimum bending radius, bending strength condition, maximum destructive force, wave orbital velocity.

Məqaləyə AzMİU-nun "Meliorasiya və su təsərrüfatı tikintisi" kafedrasının dosenti A.Ə. Mürsəlov rəy vermişdir.

Redaksiyaya daxil olma/Received 08.01.2025
Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 02.02.2026