

UOT 627.223.6.

MÜRSƏLOV A.Ə., MEHTİYEV R.İ., NƏSRULLAYEV S.B.

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
aqil10233@gmail.com, r.mehdiyeva101@gmail.com, savalannesrullayev@gmail.com

**DƏNİZİN STASİONAR PLATFORMALARININ DƏRİN SALINAN SƏRT SVAY
DAYAQLARININ BİRCİNSLİ QRUNT MÜHİTİNDƏ ŞAQUQLI VƏ ÜFÜQİ
QÜVVƏLƏRİN BİRGƏ TƏSİRİNDƏN YERDƏYİŞMƏYƏ VƏ DAYANIQLIĞA
HESABLAMA METODİKASI**

Dənizdə kənarı stasionar platforma tipli qurğuların dərin salınan mütləq-sərt svay dayaqlarının üfüqi və şaquli istiqamətdə yönələn qüvvələrin birgə təsirinə hesablanmasında qrunnt mühitinin svaya göstərdiyi reaktiv müqavimət yükünün intensivliyi bircinsli qrunnt şəraitində yaranmış təsirlər nəzərə alındıqda aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$q_{qr}(x) = q_1(x) + q_2(x) \quad (1)$$

burada, $q_1(x)$ - platformanın dayaq blokunun mütləq-sərt kateqoriyalı svay özülünün yerdəyişməsi sıfıra bərabər olan "D" nöqtəsinə nəzərən ön və arxa üzləri boyunca Fuss-Vinkler hesabi-mexaniki modelini tətbiq etdikdə təyin olunan reaktiv müqavimət olub üfüqi istiqamətdə qeyri-müntəzəm formada yayılan yüklərin təsir göstərmə ilə xarakterizə edilir [1]:

$$q_1(x) = -K(x)Y(x) = -K_h \left(\frac{x}{h} \right)^\beta Y(x) \quad (2)$$

Harada ki: β - qeyri-xəttilik parametri olub, bircinsli qrunnt şəraitində plastiki formalı yerdəyişmələri özündə əks etdirir və reallıqda aparıla bilən eksperimental tədqiqatlara görə bu parametrin ala biləcəyi qiymətlər $0 \leq \beta \leq 3$ intervalı üzrə dəyişə bilər; $q_2(x)$ - dəyişməz eninə kəsiyə malik mütləq-sərt kateqoriyalı svaylar üçün bircinsli qrunntun mühitinin svay dayağına yandan sürtünməsi və ilişənliyini nəzərə alan reaktiv müqavimət yükünün intensivliyidir və aşağıdakı düsturla tapıla bilər [2]:

$$q_2(x) = -2a(ytg\varphi + C) = -2a(\xi\gamma xtg\varphi + C) = -(m_f x + m_c) \quad (3)$$

a -dərin salınan svay özülünün hesabi en və yaxud diametridir; σ_y - ixtiyari kəsik üzrə svay dayağının ön tərəfindəki yan üzündə yaranan normal istiqamətdə yönəlmiş gərginlikdir:

$$\sigma_y = \xi \sigma_x = \xi \gamma x \quad (4)$$

ξ - bircinsli qrunntun yan tərəflərə təzyiq etməsini nəzərə alan əmsalın qiyməti olub Puasson əmsalıdır, aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\xi = \frac{\mu_0}{1 - \mu_0}$$

μ_0 - qrunnt təbəqəsinin Puasson əmsalı olub və svayı əhatələyən qrunntun tipinə görə məlumat mənbələrindəki cədvəldən qəbul edilir; γ - svayın bünövrə qrunntunun həcmi çəkisi; φ - bünövrə qrunntunun daxili sürtünməsinin bucağı; $f = tg\varphi$ bünövrədə yerləşən qrunnt mühitinin daxildən sürtünmə əmsalıdır; C - qurğunu svayı əhatələyən qrunnt təbəqəsinin xüsusi ilişənlik əmsalıdır (3) tənliyində:

$$m_f = 2a\xi\gamma tg\varphi = 2a\xi\gamma f; m_c = 2aC, \quad (5)$$

qəbul edilmişdir.

(1) ifadəsində (2) və (3) düsturları yerinə yazılırsa, alarıq:

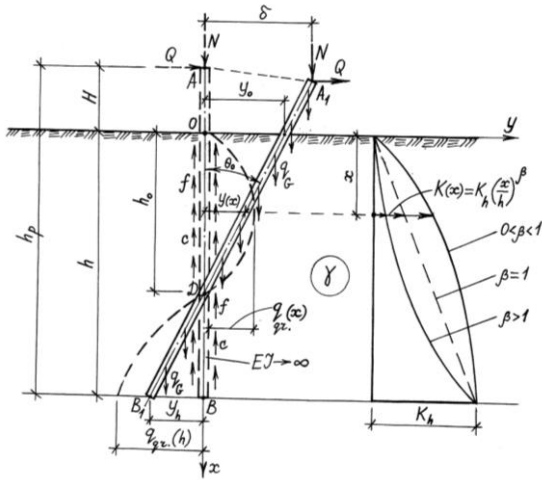
$$q_{qr}(x) = \left[K_h \left(\frac{x}{h} \right)^\beta Y + (m_f x + m_c) \right] \quad (6)$$

Yuxarı uc hissəsi bünövrə səthindən başlayaraq H hündürlüyündə yerləşən mütləq-sərt kateqoriyalı svaya üfüqi yönələn Q , şaquli istiqamətlənən N təsir qüvvələrinin birlikdə təsiri nəticəsində yeraltı hissəsinin yerləşmə dərinliyinin h götürüldüyü halda, svayın ixtiyari kəsiyində üfüqi istiqamət üzrə olan yerdəyişməni [3] aşağıdakı kimi təyin etmək olar (şəkil 1):

$$Y(x) = Y_0 - \theta_0 x \quad (7)$$

(7) düsturunu (6)-da nəzərə aldıqda, qrunut mühitinin svay özülünə göstərdiyi reaktiv müqavimətin tam intensivliyinin qiyməti kimi aşağıdakı tapılır:

$$q_{qr}(x) = -K_h \frac{x^\beta}{h^\beta} Y_0 + K_h \frac{x^{\beta-1}}{h^\beta} \theta - m_f x - m_c \quad (8)$$



Şəkil 1. Yan tərəflər sürtünmə və ilişənlik parametrlərinin mövcud təsirlərinin nəzərə alınması ilə eynicins qrunut mühitində mütləq-sərt formalı svay özülünün üfüqi və şaquli qüvvələrin birgə təsirinə hesablanmış sxemi.

$0 \leq x_1 \leq x$ interval dəyişməsinə cari koordinat məsələ həllinə daxil olduqda svayın özünün bütöv çəkisinin (G) uzunluğu boyunca paylanması intensivliyini nəzərə almaqla ixtiyari kəsikdə əyici momenti hesabladığımızda, aşağıdakı düsturla hesablan bilər:

$$M(x) = Q(H+x) + N(H+x)\theta_0 + q_G \cdot$$

$$\frac{(H+x)^2}{2} \cdot \theta + \int_0^x q_{qr}(x_1)(x-x_1) dx_1 \quad (9)$$

burada, q_G - svayın vahid uzunluğundakı çəkisi: $q_G = \frac{G}{H+h}$

(8) düsturu nəzərə alınırsa, (9) ifadəsindəki inteqralın açılışı aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$\int_0^x q_{qr}(x_1)(x-x_1) dx_1 = \int_0^x \left(-K_h \frac{x_1^\beta}{h^\beta} Y_0 + K_h \frac{x_1^{\beta-1}}{h^\beta} \cdot \theta - m_f x - m_c \right) (x-x_1) dx = K_h \frac{x^\beta}{h^\beta} Y_0 \frac{x^{\beta+2}}{(\beta+1)(\beta+2)} + \frac{K_h \theta_0}{h^\beta} \cdot \frac{x^{\beta-3}}{(\beta+2)(\beta+3)} - m_f \cdot \frac{x^3}{6} - m_c \cdot \frac{x^2}{2} \quad (10)$$

(10)-u (9)-da nəzərə almaqla əyici moment üçün aşağıdakı kimi ifadə olunan düstur əldə olunur:

$$M(x) = Q(H+x) + N(H+x)\theta_0 + q_G \cdot \frac{(H+x)^2}{2} \cdot \theta - \frac{K_h Y_0}{h^\beta} \times \frac{x^{\beta+2}}{(\beta+1)(\beta+2)} + \frac{K_h \theta_0}{h^\beta} \cdot \frac{x^{\beta-3}}{(\beta+2)(\beta+3)} - m_f \cdot \frac{x^3}{6} - m_c \cdot \frac{x^2}{2} \quad (11)$$

Dərin salınmış dəniz dibindən başlayaraq mütləq-sərt formalı svay özülünün ixtiyari kəsiyində kəsici qüvvənin aşağıdakı ifadə ilə təyin oluna bilər:

$$Q(x) = Q + \int_0^x q_{qr}(z) dz = Q + \int_0^x \left(-K_h \frac{z^\beta}{h^\beta} Y_0 + K_h \frac{z^{\beta-1}}{h^\beta} \cdot \theta - m_f z - m_c \right) dz = Q - \frac{K_h Y_0}{h^\beta} \cdot \frac{x^{\beta-1}}{\beta+1} + \frac{K_h \theta_0}{h^\beta} \cdot \frac{x^{\beta-1}}{\beta+2} - m_f \cdot \frac{x^2}{2} - m_c x \quad (12)$$

Müstəvi məsələlər sahəsi üzrə statikanın müvazinət şərtlərinə görə (7), (11) və (12) hesabi əhəmiyyət kəsb etmiş ifadələrdə Y_0 və θ_0 məchullarla başlanğıc naməlum kəmiyyətlər kimi götürülən parametrlərini svay dayağının aşağıdakı sərbəst ucluğuna görə tapmaq olar [5]: $\sum M_B = 0; \sum Q_B = 0$ (11) və (12) daxili qüvvələrinin ifadələrində "x" arqumenti "h" dərinliyi ilə əvəz olunarsa, həmin şərtlər belə yazıla bilər:

$$Q(H+x) + N(H+x)\theta_0 + q_g \cdot \frac{(H+x)^2}{2} \theta - \frac{K_h h^2}{(\beta+1)(\beta+2)} Y_0 + \frac{K_h h^3}{(\beta+1)(\beta+3)} \theta_0 - m_f \frac{h^3}{6} - m_c \frac{h^2}{2} = 0 \quad (13)$$

(13) tənliklərində Y_0 və θ_0 məchullarının tapılmasından ötrü bu tənliklər aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$\begin{aligned} & \frac{K_h h^2}{(\beta+1)(\beta+2)} Y_0 - \left[N h_p + q_g \frac{h_p^2}{2} + \frac{K_h h^3}{(\beta+1)(\beta+2)} \right] \theta = Q h_p - \\ & - \frac{h_p^2}{2} \left(m_f \frac{h^3}{3} + m_c \right) \frac{K_h h^2}{(\beta+1)(\beta+2)} Y_0 - \\ & - \left[N h_p + q_g \frac{h_p^2}{2} + \frac{K_h h^3}{(\beta+2)(\beta+3)} \right] \theta = \\ & = Q h_p - \frac{h_p^2}{2} \left(m_f \frac{h^3}{3} + m_c \right); \\ & \frac{K_h h}{(\beta+1)} Y_0 - \frac{K_h h^2}{(\beta+2)} \theta = \\ & Q - h \left(m_f \frac{h^3}{3} + m_c \right) \quad (14) \end{aligned}$$

burada, h_p – svayın yeraltındakı və yerüstündəki tam uzunluğu olub, onların cəmi kimi tapılır (şəkil 1): $h_p = h + H$.

(14) tənliklər sistemindəki ikinci nam-əlum olan Y_{0-1} və θ_{0-1} -dan tapsaq, alırıq:

$$Y_0 = \frac{Q(\beta+1)}{H_h h} - \frac{(m_f \frac{h}{2} + m_c)(\beta+1)}{K_h} + \frac{\beta+1}{\beta+2} h \theta \quad (15)$$

(15) ifadəsini (14) tənliklər sisteminin birincisində yerinə yazdıqda, θ_{0-1} aşağıdakı kimi tapmaq olar:

$$\begin{aligned} & \theta \cdot \frac{K_h h^3}{\beta+2} \left(\frac{1}{\beta+1} - \frac{1}{\beta+3} \right) - \theta (N+0,5G) h_p = \\ & = Q \left(h_p - \frac{h}{\beta+2} \right) + \left(\frac{0,5 m_f h + m_c}{\beta+2} \right) h^2 - \end{aligned}$$

$$-0,5h^2 \left(\frac{1}{3} m_f h + m_c \right)$$

$$\theta_0 = (\beta+2)(\beta+3) \times$$

$$\times \left(\frac{Q[(\beta+2)h_p - h] + \frac{1}{2} \beta h^2 \left(\frac{1}{3} m_f h + m_c \right)}{K_h h^3 - (\beta+2)^2 (\beta+3) (N+0,5G) h_p} \right) \quad (16)$$

(16)-nı (15)-də yerinə yazmaqqla, axtarılan Y_0 məchulunu tapmaq üçün hesablama ifadəsini aşağıdakı kimi alırıq:

$$Y_0 = \frac{\beta+1}{K_h} \left[\frac{Q}{h} \left(\frac{1}{2} m_f h + m_c \right) \right] + (\beta+2) \cdot (\beta+1) h \frac{Q[(\beta+2)h_p - h] + \frac{1}{2} \beta h^2 \left(\frac{1}{3} m_f h + m_c \right)}{K_h h^3 - (\beta+2)^2 (\beta+3) (N+0,5G) h_p} \quad (17)$$

Dənizin dibindən başlayaraq dərinliyə salınan mütləq-sərt kateqoriyalı svayı ilişkənsiz ($m_c=0$) qrunut mühitində yerləşdirməklə, eləcə də başqa hallarda svaya bünövrə qrunutunun mühitinin yandan sürtünməsini nəzərə almaqla, dənizin dib səviyyəsində svayın horizontal istiqamət üzrə etdiyi yerdəyişmələri [6] aşağıdakı düsturlar ilə hesablama bilirik:

a) $m_f \neq 0, m_c = 0$ olduğu hallar,

$$\begin{aligned} Y_0 &= \frac{\beta+1}{K_h} \left(\frac{Q}{h} - \frac{1}{2} m_f h \right) + (\beta+1) \cdot \\ & (\beta+3) h \cdot \frac{Q[(\beta+2)h_p - h] + \frac{1}{6} \beta m_f h^3}{K_h h^3 - (\beta+2)^2 (\beta+3) (N+0,5G) h_p}; \\ \theta &= \frac{Q[(\beta+2)h_p - h] + \frac{1}{6} \beta m_f h^3}{K_h h^3 - (\beta+2)^2 (\beta+3) (N+0,5G) h_p} \\ & (\beta+2)(\beta+3) \quad (18) \end{aligned}$$

b) $m_f = 0, m_c = 0$ hallarında isə,

$$\begin{aligned} Y_0 &= \left[\frac{1}{K_h h^2} + (\beta+3) \cdot \right. \\ & \left. \frac{(\beta+2)h_p - h}{K_h h^3 - (\beta+2)^2 (\beta+3) (N+0,5G) h_p} \right] \cdot \\ & \cdot (\beta+1) Q h; \\ \theta &= \frac{Q[(\beta+2)h_p - h]}{K_h h^3 - (\beta+2)^2 (\beta+3) (N+0,5G) h_p} \cdot \\ & \cdot (\beta+2)(\beta+3) \quad (19) \end{aligned}$$

Təklif olunan hesablama metodikası ilə

dənizkənarındakı stasionar platforma tipli qurğuların tikintisində istifadə edilən mütləq sərt svay dayaqaların dənizin dibindən vurulma dərinliyində qrunnun sərtlik əmsalının dərinlik üzrə parametrik olaraq qeyri-xətti qanunlarla dəyişilmə hallarında, eləcə də qrunnun svaya yandan ilişənlik və sürtünmə parametrlərinin təsiri nəzərə alındıqda, belə svayları şaquli və üfüqi qüvvələrin birgə təsirindən üfüqi deformasiyalara hesablamaq olar. Məlum olduğu kimi istər y_0 -ın, istərsə də θ_0 -in təyin olunması üçün (18) və (19) düsturlarında kəsrlərin hər birinin məxrəci eynidir. Bu məxrəclər sıfıra yaxınlaşdıqca y_0 və θ_0 parametrləri sonsuz böyüyür ki, bu da şaquli yönələn qüvvənin gözlənilmədən qiymətinin böyüməsi nəticəsində svayın öz dayanıqlığını itirilməsi ilə nəticələnmə bilər.

(18) və 19) düsturlarındakı eyni məxrəclərin ifadəsinin sıfıra bərabər olmasından alınan tənlik boyuna yönələn N qüvvəsinə görə həll olunduqda, həmin qüvvənin sonsuz böyümüş böhran qiymətini tapmaq olur ki, bu qüvvə də boyuna istiqamətdə yönəlmiş böhran qüvvəsi adlanır. Qeyd edilən şərtlər əsasında böhran qüvvəsindən asılı aşağıdakı tənliyi alırız:

$$(N_{böh} + 0,5G)h_p(\beta + 2)^2 \cdot (\beta + 3) = K_h h^3 \quad (20)$$

(20) tənliyindən böhran qüvvəsi aşağıdakı kimi tapılır:

$$N_{böh} = \frac{1}{h_p(\beta + 2)^2(\beta + 3)} \cdot K_h h^3 - 0,5G \quad (21)$$

Bu səbəbdən də dənizin kənarında tikilən platforma qurğularında tətbiq edilən svay özülünün üfüqi yerdəyişmələrinə görə dayanığının təmin olunmasından ötrü svay dayağına oxu üzrə yönəlmiş N şaquli qüvvəsi $N_{böh}$ böhran qüvvəsindən mütləq olmalıdır: $N < N_{böh}$ şərti ödənilməlidir [7].

Əgər, nəzərə alınsa ki, dənizkənarı stasionar platforma qurğularında dərin salınan şaquli sərt svay özülləri üçün təklif edilən

hesablama üsulu ilə həmçinin bu cür sərt maili svayı üfüqi istiqamətdə yerdəyişmələrlə yanaşı şaquli yönələn qüvvə təsirindən də dayanıqlığa hesablayaraq yoxlamaq mümkündür. Bu cür hesablama metodikasını ilə nəqliyyat tipli körpülərin suötürən- sutullaşdıran akvedukun və konsullu sudüşürən tipli hidrotexnika qurğularının dayaqlarının altındakı qruntda qazma-tökmə ilə tikilən həm şaquli və həm də maili svayların yuxarıda qeyd edilən hesablamalarını yerinə yetirmək mümkündür.

NƏTİCƏ

Təklif olunan metodika dəniz platformalarının svaylarının üfüqi və şaquli qüvvələr altında dayanıqlığının hesablanmasına imkan verir. Nəticələr göstərir ki, şaquli qüvvə kritik həddi aşmadıqda svay dayanıqlı qalır. Metodika layihələndirmədə etibarlı hesablama vasitəsidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Abbasov R.F., Məmmədov K.M., Musayev Z.S. Dəniz hidrotexniki qurğuları, neftin, qazın saxlanması və nəqli. Bakı: "ARDNŞ-nin Mərkəzləşdirilmiş Mətbəəsi", 2010, 448 s.
2. Məmmədov K.M., Musayev Z.S., Məmmədov M.K. Dəniz neft-qaz mədən hidrotexniki qurğuları. Bakı: "Təhsil" NPM, 2004.
3. Abbasov R.F., Məmmədov K.M. Dərin salınan sərt və çəvik dayaqların ikitəbəqəli qeyri-bircinsli qruntda mühitində şaquli və üfüqi qüvvələrin birgə təsirinə hesablanması. "Ekologiya və su təsərrüfatı". Elmi-texniki və istehsalat jurnalı. №2 Bakı, 2010
4. Məmmədov K.M., Musayev Z.S., Məmmədova V.V., Mürsəlov A.Ə. Qruntda mühitinin sərtlik əmsalının parametrik qeyri-xətti qanunla dəyişən halı üçün dərin salınan mütləq sərt dayağın həddi üfüqi yüklənmə qabiliyyətinin təyini. "Ekologiya və su təsərrüfatı" Elmi texniki və istehsalat jurnalı, №5, Bakı, 2008
5. Ибрагимов. А.М. Морские нефтегазо-промысловые гидротехнические сооружения. Москва: "Недра", 1996.

6. Миронов. В.В. О методе расчета свай на горизонтальные нагрузки. Журнал. “Основания, фундаменты и механика грунтов”, №3, Москва, 1971
7. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. Москва, 1986.

УДК 627.223.6

**Мурсалов А.Э., Мехтиева Р.И.,
Насруллаев С.Б.**

*Азербайджанский Архитектурно-
Строительный Университет*
aqil10233@gmail.com,
r.mehdiyeva101@gmail.com,
savalannesrullayev@gmail.com

**Методика расчёта перемещений и
устойчивости жёстких свайных опор
глубокого заложения стационарных
морских платформ при совместном
воздействии вертикальных и
горизонтальных нагрузок в
однородной грунтовой среде**
АННОТАЦИЯ

В научной статье предложена методика расчёта горизонтальных перемещений и устойчивости жёсткой свайной опоры стационарной платформы в однородной грунтовой среде с учётом совместного воздействия горизонтальных и вертикальных нагрузок, а также влияния показателей трения и сцепления грунта основания.

При этом принято, что коэффициент жёсткости грунтовой среды, в которой размещена свая, изменяется по параметрическому нелинейному закону, и на основе модели Фусса–Винклера определено реактивное сопротивление грунта по глубине.

С использованием данного выражения получены формулы для изгибающего момента и поперечной силы, а также выведены необходимые зависимости для определения начальных неизвестных параметров и критической продольной силы.

Ключевые слова: реактивное сопротивление, коэффициент Пуассона, тре-

ние и сцепление, перемещение, изгибающий момент, поперечная сила, критическая сила.

UDC 627.223.6

**Mursalov A.E., Mehtiyeva R.I.,
Nasrullayev S.B.**

*Azerbaijan University of Architecture and
Construction*
aqil10233@gmail.com,
r.mehdiyeva101@gmail.com,
savalannesrullayev@gmail.com

Methodology for calculating the displacements and stability of rigid deep-driven pile foundations of offshore stationary platforms under the combined action of vertical and horizontal loads in a homogeneous soil medium
ABSTRACT

In the scientific article, a methodology is proposed for calculating horizontal displacements and the stability of a rigid pile foundation of a stationary platform in a homogeneous soil medium, taking into account the combined effect of horizontal and vertical loads, as well as the influence of the soil's friction and cohesion parameters.

It is assumed that the stiffness coefficient of the soil medium in which the pile is embedded varies according to a parametric non-linear law, and the reactive soil resistance along the depth is determined based on the Fuss–Winkler model.

Using this formulation, expressions for the bending moment and shear force are obtained, as well as the necessary relationships for determining the initial unknown parameters and the critical axial force.

Keywords: reactive resistance, Poisson's ratio, friction and cohesion, displacement, bending moment, shear force, critical force.

*Məqaləyə AzMIU-nun “Meliorasiya və su təsərrüfatı tikintisi” kafedrasının dosenti
M.S. Zərbəliyev rəy vermişdir.*

Redaksiyaya daxil olma/Received 24.04.2025

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 25.05.2026