

UOT 626 (075)

**İBRAHİMOV Ş.H., ZAYİDOV E.Z.**

*Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti*

## **YANALMA HİDROTEKNİKİ QURĞULARDA YÜKDAŞIYAN KONSTRUKSIYARIN TƏTQIQI**

İşğaldan azad olunmuş ərazilərimiz və dövlət sərhədlərimizin tam bərpası Azərbaycan dövlətinin və tarixinin silinməz qan yaddaşdır. Zəngəzur dəhlizinin açılması və bütün Türk Dünyasını birləşdirən yolun həqiqət olması dövlətimizin tarixində yeni səhifələrin yazılması deməkdir. Bu dünyanı birləşdirən ticarət yolu Azərbaycanın Xəzər dənizinin sahillərində yerləşən liman ərazisinin dəfələrlə böyüməsinə, dünya miqyaslı bir limana çevrilməsinə şərait yaradır. Bu isə respublikamızda xalq təsərrüfatının, əsasən də sənayenin inkişafında, beynəlxalq əlaqələrdə, yük, sərnişin daşınmalarında liman hidrotexniki qurğuların xüsusi əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir. Bu qurğularda əsas hidrotexniki qurğu olaraq yanalma hidrotexniki qurğuları bütün Xəzər dənizinin sahilləri boyu əsasən də gəmilərin yanalma məntəqələrində başlıca rol oynayır. Əsas onu qeyd etmək lazımdır ki, dəniz nəqliyyatı digər nəqliyyat növləri ilə müqayisədə yük və sərnişin daşınmasına görə ucuz başa gəlir. Eyni zamanda nəzərə almaq lazımdır həm böyük həcmli və həm də müxtəlif qabaritli, ölçülü yüklərin daşınmasının həyata keçirilməsinə şərait yaradır.

Bütövlükdə götürüldükdə, liman hidrotexniki qurğularında yanalma hidrotexniki qurğuların rolu qurğuların konstruksiyalarına görə olduqca müxtəlifdir. Bunların işərisində əsasən yüksək rostverkli yanalma hidrotexniki qurğuları daha geniş tətbiq olunur. Bu qurğular akvatoriyanın külək-dalğa rejiminə qarşı daha dayanıqlı və möhkəm olur. Yüksək rostverkli yanalma qurğuları liman hidro-

texniki qurğularında əsas ağırlığı götürən konstruksiyalardır. Bu konstruksiyaların yükdaşıyan elementləri müxtəlif konstruksiyalı svaylardır. Svay isə qruntun göstərdiyi yan təzyiqa qarşı və ya onu qəbul edən çevik divarlardır. Bunlar rostverklərdən ibarətdir və qruntun qurğuya göstərdiyi yan təzyiqa qarşı duraraq, yanalma qurğusunun dayanıqlığını təmin edir. Liman qurğularının dayanıqlığını və möhkəliyini təmin etmək məqsədi ilə yerləşdirilən yüksək rostverkli yanalma qurğularının çevik svayları şaquli və üfüqi qüvvələrin birgə təsirini qarşılayırlar. Bu svaylar, rostverklə birləşməsinə görə yuxarı ucu sərbəst və yerdəyişməli olub sərt yerləşirlər. Qrunt mühitinin hər zaman baş verə biləcək deformativ xüsusiyyətlərinin dəyişməsi nəzərə alınmalıdır. Ona görə də qrunt mühitinin deformativ xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə nəzərə alaraq effektiv mühəndisi hesablaşma üsullarını liman yanalma hidrotexniki qurğularının konstruksiyalarının hesablaşmasında nəzərə almaq lazımdır. Bununla əlaqədar hesablaşma metodikasını təkmilləşdirmək hər zaman olduqca aktual məsələ olaraq qalır.

Ona görə də məsələnin öyrənilməsi dedikdə, mexaniki-hesabi model əsasında liman yanalma hidrotexniki qurğularında tətbiq olunan çevik dayaqların eninə və eninə-boyuna yaranan deformasiyaya hesablaşma metodikasının işlənməsi nəzərdə tutulur. Bu metodikanın başlıca xüsusiyyətləri yanalma qurğuların dayaq svaylarının yüksək və alçaq rostverklə üfüqi yerdəyişməsinin sərt bağlanması, svayın yan səthi ilə qrunt mühiti arasında yaranan sürtünmə və ona qarşı müqavi-



$$\frac{dQ(x)}{dx} = q(x) = \quad (3)$$

$$= EJY^{IV}(x) = q_{qr}(x)NY''(x),$$

Burada  $q_{qr}(x) = P(x) - q_{\text{runt}} \mu\text{h}itinin \text{ qurğunun dayacağına göstərdiyi ümumi reaktiv müqavimətidir.}$

Qruntun reaktiv müqavimətinin təyin olunan qiymətini (3) ifadəsində nəzərə alırıq. Qurğunun dayağının yeraltı hissəsinin boyuna-eninə əyilmədə diferensial tənliyini yazırıq:

$$EJY^{IV}(x) = - \left[ K_h b \left( \frac{x}{h} \right)^\beta Y(x) + (m_f x + m_c) - NY''(x) \right].$$

Bu tənliyi də sadə şəkildə aşağıdakı kimi yazırıq:

$$Y^{IV}(x) = -\alpha_\beta x^\beta Y(x) - \bar{m}_f x + \bar{m}_c - \nu^2 Y''(x) \quad (4)$$

Aşağıda başlanğıc sərhəd şərtləri daxilində ( $x=0$ ) baxılır:

$$Y(0) = Y_N; \quad Y'(0) = \theta_N; \quad (5)$$

$$Y''(0) = \bar{M}_N; \quad Y'''(0) = \bar{Q}_N - \nu^2 \theta_N$$

(5) ifadələri başlanğıc sərhəd şərtləri daxilində (4) tənliyini həll edirik. Bunun üçün sərhəd funksiyasında istifadə edirik və Pikar ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə qurulur.

Yanalma hidrotexniki qurğuların dayağının yeraltı hissəsinin ixtiyari kəsiyi üçün dönmə bucağını, əyici momenti və kəsici qüvvəni aşağıdakı düsturlar vasitəsilə hesablanır:

$$\bar{\theta}_n(x) = Y_n \phi_1'(x) + \theta_n \phi_2'(x) + \bar{M}_n \phi_3'(x) + \bar{Q}_n \phi_4'(x) - \bar{m}_c \phi_5'(x) - \bar{m}_f \phi_6'(x); \quad (6)$$

$$\bar{M}_n(x) = Y_n \phi_1''(x) + \theta_n \phi_2''(x) + \bar{M}_n \phi_3''(x) + \bar{Q}_n \phi_4''(x) - \bar{m}_c \phi_5''(x) - \bar{m}_f \phi_6''(x); \quad (7)$$

$$\bar{Q}_n^{en}(x) = Y_n \left[ \phi_1'''(x) + \nu^2 \phi_1'(x) \right] + \theta_n \left[ \phi_2'''(x) + \nu^2 \phi_2'(x) \right] + \bar{M}_n \left[ \phi_3'''(x) + \nu^2 \phi_3'(x) \right] + \bar{Q}_n \left[ \phi_4'''(x) + \nu^2 \phi_4'(x) \right] - \bar{m}_c \left[ \phi_5'''(x) + \nu^2 \phi_5'(x) \right] - \bar{m}_f \left[ \phi_6'''(x) + \nu^2 \phi_6'(x) \right]. \quad (8)$$

Yanalma hidrotexniki qurğuların dayaqlarının çevik svaylarının və divarların deformasiyaya hesablanması üçün çoxparametrlı mexaniki model əsasında məlum sərhəd şərtləri daxilində diferensial tənliyin həlli sərhəd funksiyası və Pikar ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə həyata keçirilir. Nəticədə svayın ixtiyari kəsiyi üçün əyinti, dönmə bucağı, əyici moment və kəsici qüvvə kimi parametrləri yuxarıda göstərilən düsturlar vasitəsilə təyin etmək mümkündür..

## ƏDƏBİYYAT

1. Abbasov R.F., Məmmədov K.M., Musayev Z.S, Dəniz hidrotexniki qurğuları, neftin, qazın saxlanması və nəqli. Dərslik, Bakı 2010, səh. 488.
2. Fərəcov H.M. Yan müqavimətləri nəzərə almaqla qrunnt mühitinin çoxparametrik qeyri-xətti modeli əsasında dərin salınan sərt piramidal dayaqların şaquli və üfüqi qüvvələrin birgə təsirinə hesablanması. Сборник научных трудов факультета ВХС и экологии, №2, Баку, 1998.
3. Məmmədov K.M., Həsənova C.M. Qrunnt mühitinin sərtlik əmsalının dərinlik boyunca qeyri-xətti qanunla dəyişmə halı üçün həddi üfüqi deformasiyaya uyğun mütləq sərt dayaqın yüklənmə qabiliyyətinin təyini. Сборник научных трудов факультета ВХС и экологии, № 3, Баку, 1999.
4. Ахмедиян Г.И. Разработка методов динамического расчета опор глубокого заложения и балочных фундаментов в условиях обычных структурно-неустой-

- чивых грунтов. Дисс. На соиск. уч. степ. канд. Техн. Наук, Баку, 1997, 178 с.
5. В.Г. Яковенко. Глубоководные причалы нового порта. М., 1973.
  6. Мамедов К. М., Абдилов С.А., Мусаев З.С. К вопросу расчета гибких свай на горизонтальную нагрузку. Сборник научных трудов факультета ВХС и экологии, № 3, Баку, 1999.
  7. Мамедов К.М. Об одном методе расчета изгибных колебаний опор морских нефтепромысловых сооружений. «Известия АН Уз ССР», серия техн. Наук, №5, 1982.
  8. Мамедов К.М., Исмаилов Ф.М. Деформационный расчет противотрационных шпунтовых стен, применяемых в гидротехническом строительстве. Труды Юбилейной сессии Варшавской сельхоз Академии, Варшава, 1990, с. 183-196.
  9. Мамедов К.М., Сафарова Н.А. Продольно-поперечный изгиб гибких опор глубокого заложения в грунтовой среде с нелинейно – изменяющимся коэффициентом жесткости с учетом деформируемости надземной части. Библиографический указатель ВНИИиС по строительству и архитектуре, №1, 1984, с. 15.
  10. Мамедов К.М., Сафарова Н.А. Расчет изгибных колебаний опор глубокого заложения с учетом нелинейного изменения жесткости грунтовой среды. Библиографический указатель ВНИИиС по строительству и архитектуре, №1, 1984, с.14.
  11. Мамедов К.М., Фараджев Г.М. Расчет горизонтально нагруженных гибких опор глубокого заложения с учетом влияния бокового сопротивления грунта. «Особенности и условия развития строительства и архитектуры в Азерб. Республике». Тематический сб. научных трудов, «АзНИИСА», Баку, 1994, с.74-85.

12. Сафарова Н.А. Статические и динамические методы расчета опор глубокого заложения на основе нелинейной модели грунтовой среды. Автореф. канд. лисс., Баку, 1987, с. 23.

**İbrahimov Ş.H., Zayıdov E.Z.**

*Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti*

### **Yanalma hidrotexniki qurğularda yükdaşıyan konstruksiyarın tətqiqi**

#### **XÜLASƏ**

Liman hidrotexniki qurğularında yüksək rostverkli yanalma hidrotexniki qurğuları daha geniş tətbiq olunur. Bu qurğular akvatoriyanın külək-dalğa rejiminə qarşı daha dayanıqlı və möhkəm olur. Yüksək rostverkli yanalma qurğuları əsas ağırlığı götürən konstruksiyalardır. Bu konstruksiyaların yükdaşıyan elementləri müxtəlif konstruksiyalı svaylardır. Liman qurğularının dayanıqlığını və möhkəmliyini təmin etmək məqsədi ilə yerləşdirilən yüksək rostverkli yanalma qurğularının çevik svayları şaquli və üfüqi qüvvələrin birgə təsirini qarşılayırlar. Bu svaylar, rostverklə birləşməsinə görə yuxarı ucu sərbəst və yerdəyişməli olub sərt yerləşirlər. Qrunt mühitinin hər zaman baş verə biləcək deformativ xüsusiyyətlərinin dəyişməsi nəzərə alınmalıdır. Bununla əlaqədar hesablama metodikasını təkmilləşdirmək hər zaman aktual məsələ olaraq qalır. Yüksək rostverkli dayaq qurğularının konstruksiyasını xarakterizə edən parametr - sərtlik əmsalı qeyri-xətti qanunla dəyişir. Təklif olunan hesablanma metodikası hər iki halı, həm “svay-qrunt”, həm də “divar-qrunt” hallarının birgə təsirini özündə əks etdirərək hesablamağa imkan verir.

Yanalma hidrotexniki qurğuların dayaqlarının yüksək və alçaq rostverkli svay konstruksiyalarının boyuna-eninə və eninə əyilmə hallarına baxılmışdır. İşlənən metodikaya əsasən baxılan məsələ dördüncü tərtib-

dən adi diferensial tənliklərə görə qeyri-xətti model əsasında verilmişdir. Bu metodikalar xüsusi hallarda mövcud olan üsullarla müqayisə edilmiş və düzgünlüyü yoxlanılmışdır. Yanalma hidrotexniki qurğuların dayaqlarının çevik svaylarının və divarların deformasiyaya hesablanması üçün çoxparametrlı mexaniki model əsasında məlum sərhəd şərtləri daxilində diferensial tənliyin həlli sərhəd funksiyası və Pikar ardıcıl yaxınlaşma üsulu ilə həyata keçirilir. Nəticədə svayın ixtiyari kəsiyi üçün əyinti, dönmə bucağı, əyici moment və kəsici qüvvə kimi parametrləri (6), (7), (8) düsturlar vasitəsilə təyin etmək mümkündür..

*Açar sözlər:* Yanalma qurğuları, rostverk konstruksiya, çevik svay, divarların deformasiyası, mexaniki model, əyinti, dönmə bucağı, əyici moment, kəsici qüvvə.

**Ибрагимов Ш.Х., Зайидов Е.З.**

Азербайджанский университет  
архитектуры и строительства

### **Исследование несущих конструкций в причальных гидротехнических сооружения**

#### **РЕЗЮМЕ**

Высокорешетчатые причальные гидротехнические сооружения получили широкое распространение в портовых гидротехнических сооружениях. Эти сооружения более устойчивы и надежны к ветроволновому режиму акватории. Высокорешетчатые причальные сооружения являются конструкциями, несущими основной вес. Несущими элементами этих сооружений являются сваи различной конструкции. Гибкие сваи высокорешетчатых причальных сооружений, устанавливаемые для обеспечения устойчивости и жесткости портовых сооружений, выдерживают комбинированное воздействие вертикаль-

ных и горизонтальных сил. Эти сваи жестко закреплены, при этом их верхний конец является свободным и подвижным благодаря соединению с решеткой. Необходимо учитывать изменения деформационных свойств грунта, которые могут происходить в любой момент. В этом отношении совершенствование методики расчета всегда остается актуальной задачей. Параметр, характеризующий проектирование высокорешетчатых опорных конструкций, – коэффициент жесткости – изменяется по нелинейному закону. Предложенная методика расчета позволяет учитывать оба случая, отражая комбинированное воздействие как случая «свая-грунт», так и случая «стенка-грунт»

Рассматривались случаи продольного и поперечного изгиба высоких и низких свайных конструкций причальных гидротехнических сооружений. В соответствии с используемой методологией, рассматриваемая задача была представлена на основе нелинейной модели по обыкновенным дифференциальным уравнениям четвертого порядка. Эти методологии сравнивались с существующими методами в частных случаях, и проверялась их точность. Для расчета деформации гибких свай и стенок причальных гидротехнических сооружений решение дифференциального уравнения в известных граничных условиях осуществлялось с использованием граничной функции и метода последовательного приближения Пикара на основе многопараметрической механической модели. В результате, с помощью формул (6), (7), (8) можно определить такие параметры, как прогиб, угол поворота, изгибающий момент и поперечная сила для произвольного сечения сваи.

*Ключевые слова:* Причальные устройства, решетчатая конструкция, гибкая свая, деформация стенки, механическая модель, прогиб, угол поворота, изгибающий момент, поперечная сила.

**İbrahimov Sh.H., Zayidov E.Z.**

*Azerbaijan University of Architecture  
and Construction*

**Study of load-bearing structures  
in berthing hydraulic structures**

**RESUME**

Vysokorechetnye mooring hydrotechnical structures have been widely distributed in port hydrotechnical structures. These structures are more stable and reliable in the wind-wave regime of the water. High lattice mooring structures are structures that carry the main weight. The load-bearing elements of these structures are of different constructions. Flexible piles of vysokorechetnyh mooring structures, installed to ensure the stability and rigidity of port structures, withstand the combined effect of vertical and horizontal forces. These piles are rigidly fixed, while their upper end is free and movable thanks to the connection with the grid. It is necessary to take into account the changes in deformation properties of the soil, which can occur at any moment. In this regard, the improvement of the calculation method always remains an urgent task. The parameter that characterizes the design of vysokorechetnyh supporting structures – the stiffness coefficient – changes according to a nonlinear

law. The proposed method of calculation allows to take into account both cases, reflecting the combined effect of both the "pile-soil" and "wall-soil" cases.

Cases of longitudinal and transverse bending of high and low pile structures of berth hydraulic structures were considered. In accordance with the methodology used, the problem under consideration was represented using a nonlinear model of fourth-order ordinary differential equations. These methodologies were compared with existing methods in specific cases, and their accuracy was verified. To calculate the deformation of flexible piles and walls of berth hydraulic structures, the differential equation was solved under known boundary conditions using a boundary function and the Picard successive approximation method based on a multiparameter mechanical model. As a result, parameters such as deflection, rotation angle, bending moment, and shear force for an arbitrary pile cross-section can be determined using formulas (6), (7), and (8).

**Keywords:** *Mooring devices, lattice structure, flexible pile, wall deformation, mechanical model, deflection, rotation angle, bending moment, shear force.*

*Məqaləyə AzMIU-nun*

*“Meliorasiya və su təsərrüfatı tikintisi”  
kafedrasının dosenti V.V. Məmmədova  
rəy vermişdir.*

*Redaksiyaya daxil olma/Received 17.02.2026*

*Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 16.03.2026*