UOT 539.3

ŞAQULİ BOŞLUĞU OLAN AĞIR QURUNTLARIN UZUNMÜDDƏTLİ DAĞILMASI

M.B.AXUNDOV*, S.A.PİRİYEV **
***Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası**
****Bakı Dövlət Universiteti**
sahibpiriyev@gmail.com

Bu məsələdə boşluğu olan yarım müstəvidə boşluq ətrafında dağılma tədqiqi edilmişdir. Məsələnin həllində Suvorova-Axundovun "İzotrop cisimlər üçün dağılma nəzəriyyəsi"ndən istifadə olunmuşdur.

Açar sözlər: dağılma, boşluq, deformasiya, gərginlik:

Neft mexanikasının mühüm mühəndis məsələlərindən biri verilmiş zaman müddətində quyu divarlarının dayanıqlığının hesabatıdır. Bu çox amildən asılı proses olub dağ süxurlarının fiziki-mexaniki xassələrindən, qazıma məhlullarının sıxlığının seçilməsindən və onun realogiyasından asılıdır. Belə hesabata misal [2]-də aparılmış azmüddətli və uzunmüddətli dayanıqlıq üçün hesabatlar, uyğun olaraq Morun möhkəmlik kriteriyası və uzunmüddətli möhkəmlik üçün Beyli kriteriyasından istifadə edilmişdir. Təqdim olunan işdə şaquli quyu ətrafında dağ süxurunun dağılmasının başlanması və inkişaf prosesinin "gizli" dağılma və həmçinin "aşkar" – qeyri-bircins dağılma stadiyasını izləməyə imkan verən metodika verilir.

Birinci yanaşma

İlkin müddəalar: başlanğıc (quyu qazılmamış halda) dağ massivinin gərginlik vəziyyəti qravitasiya qüvvəsi $P_r = \rho gz$ ilə, məsaməlik $P_n(z)$ təzyiqi ilə və üfüqi müstəvidə sıfır yerdəyişmə şərtləri müəyyən olunur. Dağ süxuru - bircins izotrop elastiki zədələnən cisimdir; quyu dağ massivində R_G sıxlıqlı maye ilə dolmuş yarımsonsuz dairəvi şaquli silindrik boşluqdur: ətalət qüvvələri nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdir.

Dekart xoy koordinat sistemini yer səthi müstəvisi üzərində yerləşdirərək, z oxunu şaquli aşağı yönəldirik, onda başlanğıc hal üçün alırıq:

$$\begin{cases} U_x^{(0)} = U_y^{(0)} = 0; \\ \sigma_{xx}^{(0)} = \sigma_{yy}^{(0)} = -\delta\Delta P_r; \quad \sigma_{zz}^{(0)} = -\Delta P_r; \\ \sigma_{xz}^{(0)} = \sigma_{yz}^{(0)} = \sigma_{xy}^{(0)} = 0. \end{cases} \tag{1}$$

burada $\Delta P_r = \rho_r gz - P_n(z)$ ρ_r - yuxarıda yerləşən süxurların orta sıxlığıdır, z - baxılan dərinlik, $\delta = \nu/(1-\nu)$-yan dağ təzyiq əmsalıdır, ν-Puasson əmsalıdır.

Normal effektiv gərginlik və yerdəyişmə aşağıdakı şəkildə göstərilir:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \sigma_{rr}^{(0)} + \sigma_{rr}^{(1)}; \\ \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\theta\theta}^{(0)} + \sigma_{\theta\theta}^{(1)}; \\ \sigma_{zz} = \sigma_{zz}^{(0)} + \sigma_{zz}^{(1)}; \\ u_r = u_r^{(1)}; \; u_\theta = 0; \; u_z = u_z^{(0)}. \end{cases} \tag{2}$$

Burada «1» indeksi ilə quyunun yaranması nəticəsində yaranan əlavə effektiv gərginlik və yerdəyişmə işarə edilib.

(2) bərabərlikləri və gərginlik deformasiya halı üçün başlanğıc ehtimallara əsasən müstəvi deformasiyası məsələsini alırıq. Yalnız gərginliklərin təyin edilməsi Lamenin aşağıdakı sərhəd şərtləri daxilində uyğun məsələsinə gətirir.

$$\begin{cases} \sigma_{rr}^{(1)} = -\Delta P_c + \delta\Delta P_r; \; r = R_c; \\ \sigma_{rr}^{(1)} = 0; \; r \to \infty \end{cases} \tag{3}$$

burada $\Delta P_c = \rho_c gz - P(R_c)$, R_c - quyunun radiusudur.

Yuxarıda qeyd edilən tam gərginliklər üçün alınmış (2) düsturlarını Lame məsələsinin (3) həllində nəzərə alsaq:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = -\Delta P_c - (\delta\Delta P_r - \Delta P_c)\left[1 - \left(\dfrac{R_c}{r}\right)^2\right] \\ \sigma_{\theta q} = -\Delta P_c - (\delta\Delta P_r - \Delta P_c)\left[1 + \left(\dfrac{R_c}{r}\right)^2\right] \\ \sigma_{zz} = -\Delta P_r. \end{cases} \tag{4}$$

Model olaraq mühiti elastiki-zədələnən mühiti kimi [1] qəbul edək. Monoton zədələnmə halı üçün zədələnmə operatoru irsi özlü axın operatoru ilə üst-üstə düşür. Baxılan məsələdə Volterra-Rabotnov uyğunluq prinsipindən istifadə etməyə imkan verir. Məlum olduğu kimi birinci əsas sərhəd məsələsi üçün gərginlik elastiki cisimdə olduğu kimidir. Uzunmüddətli möhkəmlik kriteriyası

$$\sigma_u + M^*\sigma_u = \sigma_0 \tag{5}$$

şəklinə düşür. Burada σ_u - gərginlik intensivliyidir:

$$\sigma_u = \frac{\sqrt{2}}{2}\left[(\sigma_{rr}-\sigma_{zz})^2 + (\sigma_{\theta\theta}-\sigma_{zz})^2 + (\sigma_{rr}-\sigma_{\theta\theta})^2\right]^{1/2} \tag{6}$$

M^*-öz növbəsində irsizədələnmə operatoru, σ_0-zədələnmiş materialın möhkəmliyidir. (4)-ü (6)-da nəzərə alsaq, gərginlik intensivliyi üçün aşağıdakı aşkar düsturu alarıq:

$$\sigma_u = \Delta P_r\left[(1-\delta)^2 + 3\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_r}-\delta\right)^2\left(\frac{R_c}{r}\right)^4\right]^{1\backslash 2} \tag{7}$$

Onun maksimal qiyməti zədələnmənin xüsusi intensivliyin toplandığı kriteriyaya əsasən aşağıdakı tənliklə t_0 zamanı üçün dağılma zonasının yaranmasına səbəb olur.

$$(1+M\cdot 1)\sigma_u(R_c) = \sigma_0\,. \tag{8}$$

Sonra dağılma zonası sərhədi dağılma cəbhəsi öz arxasında müqavimətini nəzərə almadığımız halqavari (silindrik) dağ süxuru dağılma çatı yaratmaqla daha da artan sürətlə hərəkət edəcək. Quyu səthindəki təzyiq baxılan zaman anı üçün yaranmış kontura-dağılma cəbhəsinə keçəcək. Dağılma cəbhəsinin hərəkət sürətinin sonsuz böyük olduğu t_p zaman anına quyuətrafı dağ massivinin tam dağılma zamanı kimi baxmaq olar.

Dağılma zonasının radiusunu $r = \beta(t)R_{so}$ təyin edən ölçüsüz $\beta(t)$ funksiyasını qəbul edək. Dağılma cəbhəsinin radiusunun R_c olduğu zaman $\tau(\tau > 1)$ ilə işarə edək. Onda $R_c = \beta(t)R_{so}$ olar. Burada R_{so} quyunun başlanğıc radiusudur. Bu halda gərginlik intensivliyi (77) yalnız bir funksiya $\beta(t)$ ilə ifadə edilə bilər:

$$\sigma(t,\tau) = \Delta P_r\left[(1-\delta)^2 + 3\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_r}-\delta\right)^2\left(\frac{\beta(\tau)}{\beta(t)}\right)^4\right]^{1/2} \tag{9}$$

Bu halda $0 < t \le t_0$ olduqda $\beta(t) = 1$ olur. İndi (8) ifadəsindən "gizli" dağılma stadiya davamiyyəti, inkubasiya periodu t_0 üçün aşkar tənlik alarıq. Müəyyənlik üçün zədələnmə operatorunun nüvəsi olaraq ən sadə

$M(t,\tau) = \lambda e^{-\mu(t-\tau)}$ götürək.

$T_0 = \lambda t_0$, $X = \mu/\lambda$ ölçüsüz kəmiyyətlərinin və həmçinin:

$$(1-\delta)^2\alpha;\quad 3\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_r}-\delta\right)^2 = \gamma;\quad \Delta P_r(\gamma+\alpha)^{1/2} = \omega; \tag{10}$$

$$\frac{\sigma_0}{\Delta P_r} - (\alpha + \gamma)^{1/2} = \eta; \quad f(\beta(t), \beta(\tau)) = \left[\alpha + \gamma\left(\frac{\beta(\tau)}{\beta(t)}\right)^4\right]^{1/2}$$

qəbul edək.

Onda alarıq:

$$T_0 = \frac{1}{x}\ln\left[1 - x\left(\frac{\sigma_0}{\omega} - 1\right)\right]^{-1}. \tag{11}$$

Bu axırıncı ifadədən baxılan proseslərinin mümkünlük üçün parametrlərinə qoyulan məhdudiyyət çıxır. Bu məhdudiyyətlər (11) ifadəsinin sağ tərəfinin müsbətliyindən irəli gəlir. Bunların ödənilməsi dağılma prosesinin baş verməməsinə və yaxud ani baş verməsinə gətirir.

Parametrlər üçün [2]: $\rho_r = 2300kq/m^3$; $\rho_s = 1100kq/m^3$; $z = 3000m$, $R_s = 33MPa$, $R_n = 45MPa$, $\sigma_0 = 200MPa$, $\delta = 0{,}25(v = 0{,}2)$ və həmçinin $x = 0{,}1(11)$ düsturundan $T_0 = 6{,}1$ alarıq.

Dağılma prosesinin sonrakı inkişafı (5) və (7) inteqral tənlikləri ilə təsvir olunacaq:

$$\sigma_u(t,t) + \int_0^1 M(t-\tau)\sigma_u(t,\tau)d\tau = \sigma_0. \tag{12}$$

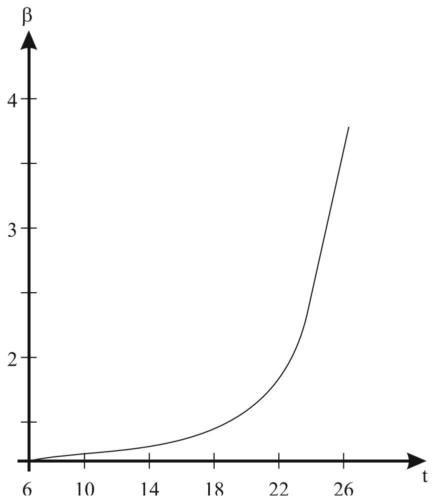
Burada t və τ kəmiyyətləri λ parametrinə bölünmüş ölçüsüz zamanı göstərir. (7) ifadəsini və (10) işarələmələrini (12) tənliyində nəzərə alsaq,

$$\int_0^e e^{-x(t-\tau)} f(\beta(t), \beta(\tau))d\tau = \eta \tag{13}$$

taparıq.

Bu inteqral tənliyi ədədi yolla həll edirik. İnkubasiya müddətini təyin etmək ədədi hesabat sxeminin mümkün xətasından tapılır. Hesabat göstərir ki, inkubasiya periodunun onda birinə bərabər götürülmüş addım onun təyinində 11 % inkubasiya periodunun beşdə birini addım kimi götürdükdə isə 0,3% xəta alınır. Bu axırıncı addımla (13) inteqral tənliyi ədədi ardıcıllıqla həll edilmişdir. Bu hesabatın nəticəsi kimi dağılma cəbhəsinin ölçüsüz radiusunun zamandan asılılıq qrafiki qurulmuşdur.

Bu əyrinin şaquli asimptota (dağılma cəbhəsinin sonsuz böyük sürətlə hərəkəti) yaxınlaşma zamanı - tam dağılma zamanına t_r bərabər olur, bu hesabatda $t_r = 21$ olur. Beləliklə, baxdığımız hal üçün "gizli" dağılma T_0 zamanı, "açıq" dağılma müddətinin $\Delta T_0 = t_r - T_0$ nəzərəçarpacaq hissəsinə, bizim halda 40% bərabər olur.



Şək. 1.

İkinci yanaşma

Burada şaquli quyuətrafı qrunt zədələnən mühit kimi qəbul olunmuşdur və sement qatı ilə qrunt arasındakı kontak gərginlik hesablanmışdır. Əvvəlcə tənliklər sırf elastiki mühit üçün alınmışdır. Sonra ikinci mühit izotrop zədələnən mühit kimi qəbul olunmuşdur.

Aşağıda verilənlər uyğun olaraq birinci ikinci mühitlər üçün gərginlik və deformasiya komponentləri arasındakı münasibətlər uyğundur.

$$\begin{aligned}
&\sigma_{rr}^{(1)} = \frac{E_1}{1-\mu_1^2}\left(\frac{\partial u_1}{\partial r} + \mu_1 \frac{u_1}{r}\right) \\
&\sigma_{rr}^{(1)} = \frac{E_1}{1-\mu_1^2}\left(\frac{\partial u_1}{r} + \mu_1 \frac{\partial u_1}{\partial r}\right) \qquad (14) \\
&\sigma_{r\varphi}^{(1)} = G_1\left(\frac{1}{r}\frac{\partial u_1}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r}\right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\sigma_{rr}^{(2)} = \frac{E_2}{1-\mu_2^2}\left(\frac{\partial u_2}{\partial r} + \mu_2 \frac{u_2}{r}\right) \\
&\sigma_{rr}^{(2)} = \frac{E_2}{1-\mu_2^2}\left(\frac{\partial u_2}{r} + \mu_2 \frac{\partial u_2}{\partial r}\right) \qquad (15) \\
&\sigma_{r\varphi}^{(2)} = G_2\left(\frac{1}{r}\frac{\partial u_2}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} - \frac{u_\varphi}{r}\right)
\end{aligned}$$

Sərhəd şərtləri:

$$\begin{cases} \sigma_{rr}^{(1)} = \sigma_{rr}^{(2)} = -q_k \\ u_2 - u_1 = \varepsilon \\ \sigma_{rr}^{(2)}\Big|_{r=R} = q \\ \sigma_{r\varphi}^{(1)} = \sigma_{r\varphi}^{(2)} = 0 \end{cases} \qquad (r = R_0) \tag{16}$$

Hərəkət tənliyi:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2} = 0 \tag{17}$$

(17) tənliyinin həllini uyğun olaraq birinci və ikinci mühitlər üçün aşağıdakı kimi axtaraq:

$$\begin{aligned} u_1 &= cr \\ u_2 &= c_1 r + \frac{c_2}{r} \end{aligned} \tag{18}$$

(18) həllini (15)-də yazıb (16) sərhəd şərtlərini nəzərə alsaq, aşağıdakı münasibətləri alarıq.
Birinci mühit üçün:

$$u_1 = \frac{(1-\mu_1)q_k}{E_1} r$$

İkinci mühit üçün:

$$\begin{cases} \dfrac{E_2 c_1}{1-\mu_2} - \dfrac{E_2 c_2}{R_0^2(1+\mu_2)} = -q_k \\ \dfrac{E_2 c_1}{1-\mu_2} - \dfrac{E_2 c_2}{R^2(1+\mu_2)} = q \end{cases} \tag{19}$$

(19) tənliyinin həllindən c_1 və c_2 aşağıdakı kimi tapılır:

$$\begin{aligned} c_2 &= \frac{(q+q_k)(1+\mu_2)R_0^2 R^2}{(R^2 - R_0^2)E_2} = \frac{R_0^2 R^2 (1+\mu_2)q + R_0^2 R^2 (1+\mu_2)q_k}{(R^2 - R_0^2)E_2} \\ c_1 &= \frac{R^2(1-\mu_2)q + (1-\mu_2)R_0^2 q_k}{(R^2 - R_0^2)E_2} \end{aligned} \tag{20}$$

(20)-ni (18)-in ikincisində nəzərə alsaq, ikinci mühit üçün yerdəyişməni aşağıdakı kimi taparıq.

$$u_2=\frac{R^2(1-\mu_2)q+(1-\mu_2)R_0^2q_k}{(R^2-R_0^2)E_2}r+\frac{R_0^2R^2(1+\mu_2)q+R_0^2R^2(1+\mu_2)q_k}{r(R^2-R_0^2)E_2} \qquad (21)$$

$r=R_0$-da $u_2-u_1=\varepsilon$-da (21) nəzərə alsaq, kontak gərginlik üçün aşağıdakı bərabərliyi alarıq.

$$q_k=\frac{\varepsilon R_0(R^2-R_0^2)E_1E_2-2R_0^2R^2E_1q}{R_0^4(1-\mu_2)E_1+R_0^2R^2(1+\mu_2)E_1+R_0^2(R^2-R_0^2)(1-\mu_1)E_2} \qquad (22)$$

Bundan sona ikinci mühiti zədələnən mühit kimi qəbul edib Rabotnov modelindən istifadə etsək, (22) düsturu aşağıdakı kimi alınar.

$$q_k=\frac{\varepsilon R_0(R^2-R_0^2)E_1\widetilde{E}_2-2R_0^2R^2E_1q}{R_0^4(1-\mu_2)E_1+R_0^2R^2(1+\mu_2)E_1+R_0^2(R^2-R_0^2)(1-\mu_1)\widetilde{E}_2} \qquad (23)$$

Aşağıdakı işarələmələri qəbul etsək, (23) düsturu aşağıdakı kimi olar.

$$\varepsilon R_0(R^2-R_0^2)E_1=a,\ -2R_0^2R^2E_1q=b,$$

$$R_0^4(1-\mu_2)+R_0^2R^2(1+\mu_2)E_1=c,\ R_0^2(R^2-R_0^2)(1-\mu_1)=d$$

$$q_k=\frac{b+a\widetilde{E}_2}{c+d\widetilde{E}_2}=\frac{b+aE_2(1-\text{э}_\alpha^*(\lambda))}{c+dE_2(1-\text{э}_\alpha^*(\lambda))}=\frac{b+aE_2-aE_2\,\text{э}_\alpha^*(\lambda)}{c+dE_2-dE_2\,\text{э}_\alpha^*(\lambda)} \qquad (24)$$

Burada $\text{э}_\alpha^*(\lambda)$-zədələnməni xarakterizə edən irsi tip operatordur [3]. Yenidən (24) düsturunda aşağıdakı işarələmələri qəbul edək.

$$b+aE_2=k_1,\ -aE_2=k_2,\ c+dE_2=k_3,\ -dE_2=k_4$$

Yuxarıdakı işarələmələri (24)-də nəzərə alsaq aşağıdakı bərabərlik alınar.

$$q_k=\frac{k_1+k_2\,\text{э}_\alpha^*(\lambda)}{k_3+k_4\,\text{э}_\alpha^*(\lambda)}=\frac{k_1\left(1+\frac{k_2}{k_1}\text{э}_\alpha^*(\lambda)\right)}{k_3\left(1+\frac{k_4}{k_3}\text{э}_\alpha^*(\lambda)\right)}=\frac{k_1}{k_3}\text{э}_\alpha^*\left(\lambda-\frac{k_4}{k_3}\right) \qquad (25)$$

(25)-də $\text{э}_\alpha^*(\lambda)$ operatorunun nüvəsini aşağıdakı qəbul etsək bu düstur aşağıdakı kimi olar.

$$\text{э}_\alpha^*=e^{\left(\lambda-\frac{k_4}{k_3}\right)t},$$

$$q_k=\frac{k_1}{k_3}\left(\frac{k_2}{k_1}-\frac{k_4}{k_3}\right)\left(\lambda-\frac{k_4}{k_3}\right)\left(1-e^{-\left(\lambda-\frac{k_4}{k_3}\right)}\right) \qquad (26)$$

(26)- düsturu quyu ətrafında sement qatı ilə qrunt qatı arasınadakı kontakt gərginlik üçün düsturdur. Burada sement qatı sırf elastiki mühit. Qrunt hissə isə zədələnən mühit kimi qəbul olunmuşdur.

ƏDƏBİYYAT

1. Баклашов И.В., Руппенитт К.П. Прочность незакреплённжх выработок. М.: Недра, 1965.
2. Фотиев Н.Н. Расчёт обделок тоннелей некругового поперечного сечения. М.: Стройиздат, 1974.
3. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М., 1977.
4. Ягубов Н.И. Расчет обсадных колонн. М.: Недра, 1982.
5. Piriyev S.A. Forecasting of Load - Carrying Ability of The Earth file Around of Horizontal Cavities. Global Journal of Human Social Science Geography & Environmental GeoSciences. Volume 12 Issue 11 Version 1.0 Year 2012. Double Blind Peer Reviewed International Research Journal. Publisher: Global Journals Inc. (USA). Online ISSN: 2249-460x & Print ISSN: 0975-587X.
6. Piriyev S.A. The Dispersed Failure of a Heavy Half-Plane with a Circular Aperture. International Mathematical Forum, 4, 2009, no. 34, 1693 – 1698. Bulgaria

ДЛИТЕЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ТЯЖЁЛОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ОСЛАБЛЕНИЕМ

М.Б.АХУНДОВ, С.А.ПИРИЕВ

РЕЗЮМЕ

Исследуется рассеянное разрушение тяжелой полуплоскости с круговым отверстием под действием внутреннего постоянного давления. Используется известная теория повреждаемости Суворовой-Ахундова для изотропного тела.

Ключевые слова: разрушение, туннели, деформация, напряжение.

LONG DESTRUCTION OF THE HEAVY SOIL BASIS WITH THE VERTICAL CIRCULAR EASING

M.B.AKHUNDOV, S.A.PIRIYEV

SUMMARY

Absent-minded destruction of a heavy semiplane with a circular aperture under the influence of internal constant pressure is investigated. The known theory of damageability of Suvorov-Akhundov for an isotropic body is used.

Key words: destruction, tunnels, deformation, stress.

Redaksiyaya daxil oldu: 03.05.2013-cü il
Çapa imzalandı: 24.05.2013-cü il