

УСТОЙЧИВОСТ НА ПОДЗЕМНА КРЪГОВА КОНСТРУКЦИЯ

В. Трифонова - Генова¹

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Разглежда се подземна кръгова конструкция разположена в напластен масив. За нея е определена функцията на потенциалната енергия вследствие земен натиск. От условието за екстремум на тази функция е получен изразът за критичното натоварване при което настъпва разрушаване. За конкретна подземна кръгова конструкция в еднороден масив с равнина на изотропия успоредна на оста на изработката са получени числени стойността на критичния земен натиск и резултантния вектор на натоварването. Тези величини определят сигурността на конструкцията на устойчивост.

STABILITY OF CLOZED UMDERGROUND CONSTRUCTOINS

Trifonava – Guenova V.¹

¹University of Mining and Geology "St. Iv. Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The paper focuses on a circular underground construction in laired rock mass. A function of potential energy due to earth pressures is determined. An expression is obtained for the critical load at which rupture occurs through the extremum condition for of this function. Numerical value of the critical earth pressures and the resultant load vectoris are obtained for a specific underground circular structure in a uniform array of isotropic plane parallel to the axis of construction. These values determine the safety of the construction of stability.

Резултантната на силите които причиняват преминаване на една конструктивна система от състояние на устойчивост в състояние на неустойчивост се нарича критична сила. За нейното определяне ще използваме енергетичния метод (Gilmore R. 1981). Съгласно него критичното състояние на системата се определя от условието за екстремум на потенциалната енергия на системата. Последната определяме по познатите методи, като се използва свойството че тя е равна на работата на силите от земен натиск и теглото на конструкцията (Минчев И.Тр. 1997, 2003).

Редица теоретични изследвания са посветени на определянето на пълното натоварване върху различните по форма крепежни конструкции. В тях се отчита взаимодействието между крепежа и изотропния или трансверзално-изотропния масив. Последният се характеризира с равнина на изотропия с физико-механични характеристики различни от тези в перпендикулярно на нея направление. При произволно разположение на тази равнина спрямо оста на изработката натоварването е неравномерно. Когато равнината на изотропия е успоредна на оста на крепежната конструкция и наклонена спрямо хоризонталната ос на напречното сечение на изработката, то натоварването е симетрично спрямо нея.

За такава симетрично натоварване от земен натиск ще се изследва сигурността на подземна кръгова конструкция. Тя се определя чрез отношението:

$$k = \frac{R_{kp}}{R} \quad (1)$$

където R_{kp} критичната стойност на външното натоварване, а R е главния вектор на натоварването.

Критичната стойност на външното натоварване при което системата от покой преминава в положение на загуба на устойчивост се получава от условието за минимум на потенциалната енергия на външните сили (Трифонова-Генова В. М. 2010):

$$R_{kp} = \sqrt{\frac{M_A^2}{(2r)^2} + \left(G + \frac{EJ}{2r}\right)^2} \quad (2)$$

Тук G е собственото тегло, EJ е коравина, а r е радиус на кръговата конструкция.

Неравномерното натоварване на крепежа се заменя със съсредоточени по контура сили. Те се редуцират за за горна средна точка A от крепежната конструкция. Така се получават компонентите R_x, R_y , на главния вектор R и момента M_A .

Числен пример:

Разглежда се хоризонтална кръгова изработка, прокарана на дълбочина H в трансверзално-изотропен масив. Модулите на еластичността E_i , коефициентите на Поасон μ_i , модулът на срязване в равнина перпендикулярно на равнината на изотропия G_2 на масива са дадени в таблица 1 (Зорин А.Н., Розовский М.И. 1965).

Таблица 1

$E_1 \cdot 10^7$ [$\frac{kN}{m^2}$]	$E_2 \cdot 10^7$ [$\frac{kN}{m^2}$]	μ_1	μ_2	$G_2 \cdot 10^7$ [$\frac{kN}{m^2}$]
1,074	0,523	0,413	0,198	0,12

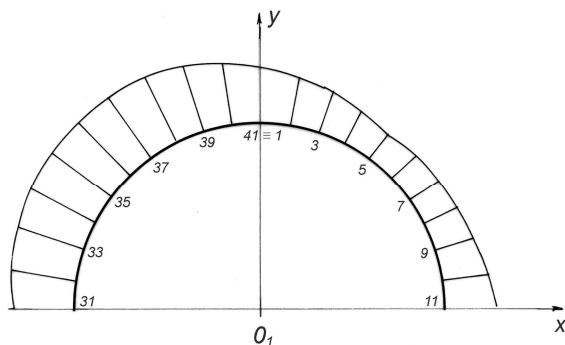
В равнината на изотропия тези характеристики са E_1 , и μ_1 , а в направление перпендикулярно на тази равнина са E_2 и μ_2 . Обемното тегло на масива е $\gamma = 26,8kN/m^2$.

Крепещната конструкция е с дебелина $d = 0,3m$ и радиус $r = 2m$. Характеристиките на материала са дадени в таблица 2, а теглото на конструкцията е $G = 76,679kN$.

Таблица 2

$E \cdot 10^7$ [$\frac{kN}{m^2}$]	μ	γ [$\frac{kN}{m^2}$]	$EJ \cdot 10^2$ [kNm^2]
3,0	0,25	22	675

Предполага се че в ненарушения скален масив напреженията се разпределят неравномерно и се изчисляват както следва: вертикалното нормално напрежение е $\sigma_y = -\gamma H$, страничното нормално напрежение е $\sigma_x = -0,407\gamma H$, а тангенциалното напрежение е $\tau_{xy} = 0,3\gamma H$. Компонентите на напреженията в околността на закрепена с еластичен крепеж изработка са получени чрез аналитичните методи на механика на непрекъснатите среди. Разгледан е случай когато наклона на равнината на изотропия е $\varphi = 60^\circ$ спрямо хоризонталната ос на сечението. Диаграмата на радиалното напрежение σ_r по контура между крепежа и масива е представена на фигура 1 (Ержанов Ж.С., Айтиалиев М. М., Масанов Ж.С. 1971). Тези напрежения представляват нормалното натоварване върху крепежната конструкция в точки от контактната повърхност и техните числени стойности са дадени в таблица 3. Тангенциалното натоварване се пренебрегва.



Фиг. 1.

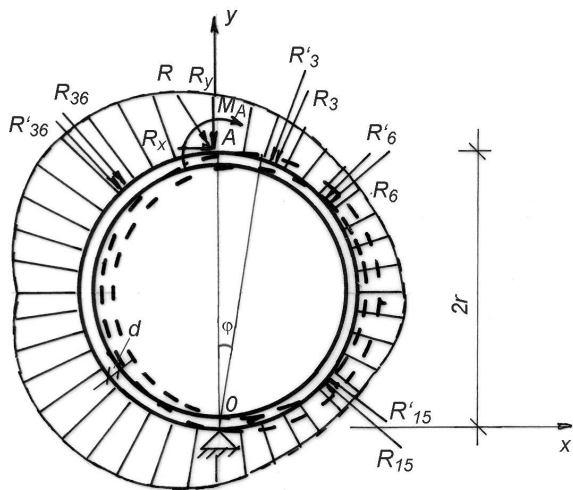
Таблица 3

Точка	φ [$^\circ$]	$\frac{\sigma_r}{\gamma H}$ [$\frac{kN}{cm^2}$]	Точка	φ [$^\circ$]	$\frac{\sigma_r}{\gamma H}$ [$\frac{kN}{cm^2}$]
1 = A	0	0,758	31	270	0,8
2	9	0,632	32	279	0,926
3	18	0,589	33	288	0,947
4	27	0,533	34	297	1,01
5	36	0,463	35	306	0,968
6	45	0,463	36	315	1,01
7	54	0,463	37	324	1,01
8	63	0,533	38	333	0,968
9	72	0,589	39	342	0,926
10	81	0,632	40	351	0,842
11	90	0,674	41=1	360	0,758

Приема се че това разпределено натоварване се изменя линейно между две съседни точки в които е получено. То се заменя с две еквивалентни радиални концентрирани сили (фиг.2). Приетата линейна интерполация има следните предимства: простота на изразите за еквивалентните сили, разстоянията между двете точки са равни, ординатите могат да имат чупки и скокове. За получените концентрирани сили са определени направлението, големините, посоките и приложните им точки в първи и четвърти квадрант. Изчислени са компонентите на тези сили спрямо хоризонталната и вертикална ос на напречното сечение на изработката (таблицы 4а и 4б).

Таблица 4а

1	2	3	4	5
Площадка	$\frac{R_x}{\gamma H}$ [kN]	$\frac{R_y}{\gamma H}$ [kN]	x [m]	y [m]
1-2	-0,001	-0,020	0,105	1,997
	-0,015	-0,191	0,157	1,994
2-3	-0,001	-0,007	0,416	1,956
	-0,043	-0,179	0,467	1,945
3-4	-0,003	-0,008	0,717	1,867
	-0,064	-0,154	0,766	1,848
4-5	-0,006	-0,009	1	1,732
	-0,076	-0,124	1,045	1,700
5-6	-0,094	-0,110	1,299	1,521
6-7	-0,110	-0,094	1,521	1,299
7-8	-0,124	-0,076	1,705	1,045
	-0,010	-0,006	1,732	1
8-9	-0,154	-0,064	1,848	0,766
	-0,009	-0,003	1,867	0,717
9-10	-0,179	-0,043	1,945	0,467
	-0,006	-0,001	1,902	0,416
10-11	-0,197	-0,016	1,994	0,157
	-0,020	-0,001	1,997	0,105



Фиг. 2.

Таблица 4б

1	2	3	4	5
Площадка	$\frac{R_x}{\gamma H}$ [kN]	$\frac{R_y}{\gamma H}$ [kN]	x [m]	y [m]
31-32	0,249	-0,020	-1,994	0,157
	0,02	-0,002	1,989	0,209
32-33	0,282	-0,068	-1,945	0,467
	0,003	-0,001	1,932	0,518
33-34	0,274	-0,113	-1,848	0,766
	0,009	-0,004	1,827	0,814
34-35	0,006	-0,003	-1,732	1,0
	0,258	-0,158	-1,705	1,045
35-36	0,230	-0,197	-1,521	1,299
	0,005	-0,004	1,486	1,338
36-37	0,205	-0,240	-1,299	1,521
37-38	0,004	-0,006	-1,089	1,677
	0,158	-0,258	-1,045	1,705
38-39	0,003	-0,006	-0,814	1,827
	0,111	-0,268	-0,766	1,848
39-40	0,003	-0,013	-0,518	1,932
	0,061	-0,256	-0,467	1,945
40-41	0,002	-0,013	-0,209	1,989
	0,019	-0,236	-0,157	1,993

За $\gamma H = 206,56 \text{ kN/m}^2$ са получени главният вектор, главният момент за горна средна точка A, критичната сила $R_{кр}$ и коефициента на сигурност k дадени в следната таблица:

Таблица 5

$R_{кр}$ [kN]	4298,8
R [kN]	3292,6
M_A [kNm]	6837,14
k	1,305

От предишни изследвания е получено че коефициента k при отчитане на нормалното натоварване е по-голям спрямо коефициента на устойчивост k_1 , когато се отчита както нормалното така и тангенциалното неравномерно натоварване и тази разлика е около 7%. Получената стойност на коефициента на сигурност от таблица 5 е завишена спрямо минимално необходимата стойност единица с 20%. Поради това може да се твърди, че конструкцията е сигурна срещу загуба на устойчивост.

Когато равнината на изотропия е успоредна на хоризонталната или вертикалната ос на напречното сечение на крепежа, то натоварването се оказва симетрично относно двете оси. Тогава главния вектор и главния момент са равни на нула и необходимостта от изследване на конструкцията на устойчивост вследствие земен натиск отпада.

В заключение се препоръчва

- да се отчете само нормалното натоварване при определяне на главният вектор и момент,
- да се съгъят интервите между точките с цел повишаване на точността на решението,
- да се пристъпва към изчисляване на коефициента на сигурност от земен натиск само при изразена неравномерност (при наклон на равнината на изотропия между 30° и 60°).

Използваната теория, приложена при трансверзално-изотропен масив може да се приложи и при други форми на напречното сечение. Конкретното неравномерно натоварване се определя за всеки конкретен случай.

ЛИТЕРАТУРА

- Gilmore R., 1981. *Catastrophe theory for scientists and engineers*, Arlington, Virginia, New York.
- Ержанов Ж.С., Айтиалиев М. М., Масанов Ж.К. 1971. *Устойчивость горизонтальных выработок в наклонном слоистом массиве*, Алма-Ата, „Наука“.
- Зорин А.Н. Розовский М.И.1965. *Метод расщифровки иррационал ной функции интеграл ного оператора* „Прикладная механика“, Алма-Ата, „Наука“, №9.
- Минчев И. Т. 1997. *Механика на катастрофите*, С.
- Минчев И. Т. 2003. *Механика на катастрофите*, С.
- Трифоновна-Генова В. М. 2010. *Устойчивост на затворени подземни конструкции*, Годишник на МГУ „Св. Ив.Рилски“, том 53, св.ІІ.