

УСТОЙЧИВОСТ НА ПОДЗЕМНИ ЗАТВОРЕНИ КОНСТРУКЦИИ

Виолета Трифонова - Генова

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

РЕЗЮМЕ. Изследва се устойчивото равновесие на подземна затворена конструкция. По енергетичния метод е определен израза за критичното натоварване, при което системата преминава в състояние на неуравновесена устойчивост. Числено е получено натоварването върху конкретна правоъгълна конструкция. Отчетено е взаимодействието на крепежа с масив, състоящ се от краен брой изотропни успоредни пластове. Получено е критичното натоварване, при което конструкцията запазва устойчивото си състояние.

STABILITY OF CLOSED UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

Violeta Trifonova – Guenova

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

ABSTRACT. The paper examines the sustainable equilibrium of a closed underground construction. A critical load expression is derived from the energetic method. In it the system passes into a unsteady equilibrium state. The load of a specific rectangular construction is numerically obtained. The interaction with a support in an array consisting of a finite number of parallel isotropic layers is also considered. The critical load in which sustainable construction retains its state is obtained.

За да се определи състоянието на устойчивост и неустойчивост на една консервативна система е необходимо да се определи критичната сила. За нейното определяне се прилага енергетичния метод (Gilmore R. 1981). Съгласно него е необходимо да се изпълни условието за екстремум на потенциалната енергия, която е функция на натоварването от земен натиск.

Тъй като всяка конструкция има специфична форма на напречното сечение, то натоварването има различна конфигурация. Поради тази причина трябва за всяка конкретна конструкция да се направи съответното изследване и се определи конкретното натоварване.

Върху неговата форма влияят различните случайни фактори като неравномерност на повърхността на изработката, наличие на местни нееднородности, нееднородност на контакта и други. Това обяснява неравномерното нормално натоварване, което се получава чрез измерване (Минчев И. Тр. 2003). Тук обаче не се отчита тангенциалното натоварване върху конструкцията.

Съществуват значителен брой теоретични и числени изследвания посветени на определянето на пълното натоварване върху различните по форма крепежни конструкции. Тези изследвания са получени при отчитане на взаимодействието на крепежа с масива. В повечето от тях последния е изотропен или трансверзално-изотропен. Ако обаче земният масив се състои от произволно разположени и с различна дебелина на пластове, всеки от които е анизотропен, е подходящо да се използват числените методи. Един от тях е метода на крайните

елементи. Чрез него се получават неравномерни и скокообразни диаграми на натоварването (Трифонова В.М. 1982). Тези скокове се дължат на различните физико-механични характеристики на пластове.

За да се приведе израза за критичната стойност на външното натоварване при което системата от положение на покой минава в положение на загуба на устойчивост, се прилага критерия на Лагранж-Дерихле (Минчев И.Тр. 1997). Според него конструкцията е закрепена в една точка O на основата. Тогава под действието на неравномерното натоварване крепежа получава завъртане на ъгъл φ . Последният се приема за обобщена координата. Чрез нея се изразява функцията за потенциалната енергия на подземна крепежна конструкция. Тя е сума от енергиите от момента на външните сили спрямо точката на закрепване, от собственото тегло и от съсредоточените по контура сили. Моментът се приема, че е пропорционален на ъгъла φ , с коефициент на пропорционалност k . За удобство тези сили се редуцират за горната средна точка A' от крепежната конструкция. Така се получават компонентите R_x, R_y , на главния вектор R и момента $M_{A'}$. За потенциалната енергия се получава израза:

$$\Pi = \frac{1}{2}k\varphi^2 + Gh(1 - \cos\varphi) - R_x h\varphi - R_y h(1 - \cos\varphi) - M_{A'}\varphi \quad (1)$$

където $k = \frac{EJ}{h}$, а G е собственото тегло.

Условията за равновесна устойчивост са:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = k\varphi - R_x h - R_y h \sin \varphi + Gh \sin \varphi - M_{A'} = 0$$

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \varphi^2} = k - R_y h \cos \varphi + Gh \cos \varphi = 0 \quad (2)$$

От решението на тази система се получават компонентите R_x и R_y :

$$R_x = \frac{1}{h}(k\varphi - ktg\varphi) - \frac{M_{A'}}{h}$$

$$R_y = G + \frac{k}{h \cos \varphi} \quad (3)$$

Самата резултантна се определя от израза:

$$R = \sqrt{\frac{1}{h^2}(k\varphi - ktg\varphi - M_{A'})^2 + \left(G + \frac{k}{h \cos \varphi}\right)^2} \quad (4)$$

Минималната стойност на тази функция се получава при $\varphi = 0$. Тогава критичната стойност на резултантната е:

$$R_{kp} = \sqrt{\frac{M_{A'}^2}{h^2} + \left(G + \frac{EJ}{h}\right)^2} \quad (5)$$

Този израз е получен за конструкцията разгледана като абсолютно твърдо тяло.

Сигурността на конструкцията на устойчивост се определя от коефициента на сигурност:

$$k = \frac{R_{kp}}{R} \quad (6)$$

Ако k е по-голям от 1 то следва, че конструкцията е сигурна срещу загуба на устойчивост от даденото натоварване.

Числен пример

Разглежда се правоъгълна изработка с абсолютно твърд крепеж, прокарана в масив, състоящ се от 5 успоредни изотропни пласта. Модулите на еластичността E_i , коефициентите на Поасон μ_i , обемните тегла γ_i , дебелините h_i на пластове са дадени в таблица 1.

Таблица 1

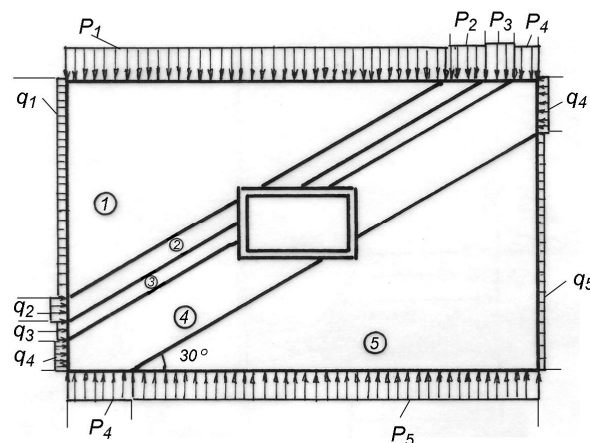
п л а с т и	E	μ	γ	h m
1	$0,595 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$	0,237	$0,28 \text{ kN/m}^3$	3,2
2	$0,367 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$	0,16	$0,257 \text{ kN/m}^3$	1,6
3	$0,08 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$	0,22	$0,247 \text{ kN/m}^3$	0,65
4	$0,148 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$	0,15	$0,25 \text{ kN/m}^3$	0,7
5	$0,367 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$	0,16	$0,257 \text{ kN/m}^3$	3,85

Крепезната конструкция е правоъгълна с ширина $b = 4m$, височина $h = 2,5m$ и дебелина $d = 0,3m$. Характеристиките на материала са дадени в таблица 2, а теглото на конструкцията е $G = 77,88 \text{ kN}$.

Таблица 2

E	μ	γ	EJ
10^7 kN/m^2		kN/m^3	10^2 kNm
3,0	0,25	22	675

За определянето на натоварването от земен натиск се използва метода на крайните елементи. Съгласно него около крепежната конструкция се разглежда правоъгълна област (фиг. 1). Нейните размери са четирикратни на тези на изработката.



Фиг. 1

Контура на напластената област е натоварена с напреженията:

$$p_i = \gamma_i H, q_i = \frac{\mu_i}{1 - \mu_i} \gamma_i H, i = 1, \dots, 5 \quad (7)$$

където H е дълбочината на изработката. Правоъгълната област, се разделя на крайни елементи с форма на триъгълници. Решението се търси в премествания в точките от върховете на елементите. Разпределените товари по контура на областта се заменят със съсредоточени еквивалентни сили, приложени във

върховете на триъгълните елементи. След определяне на възловите премествания се определят напреженията.

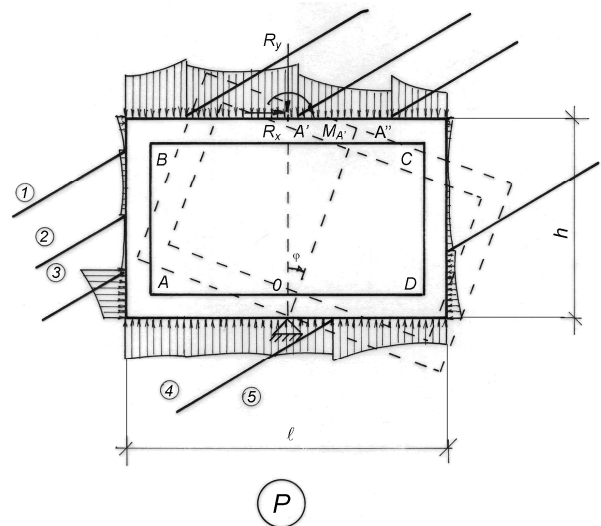
Нормалните и тангенциални напрежения в точки с координати x и y от контактната повърхност между крепежа и масива представляват нормалното p и тангенциално q натоварването върху конструкцията (табл. 3).

Таблица 3

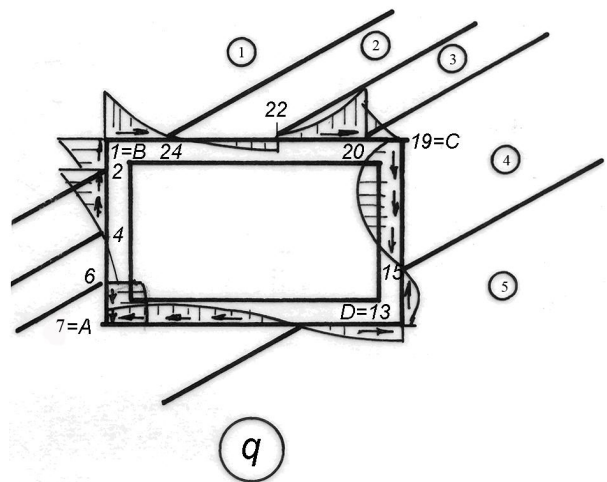
точки	x m	y m	p 1.10^2 $kN \setminus m$	q 1.10^2 $kN \setminus m$
1	-2	1,25	2,1	3,86
2	-2	0,825	0,86	1,28
2	-2	0,825	1,07	3,33
3	-2	0,375	1,48	1,29
4	-2	0	1,55	0,71
4	-2	0	0,74	0,02
5	-2	-0,4	0,74	0,02
6	-2	-0,725	1,05	-0,46
6	-2	-0,725	11,06	-0,02
7	-2	-1,25	4,15	-1,84
7	-2	-1,25	10,32	-1,84
8	-1,35	-1,25	11,47	-0,68
9	-1,25	-1,25	9,6	-2,05
10	-0,15	-1,25	9,44	-0,27
11	0,5	-1,25	9,35	0,21
11	0,5	-1,25	10,96	0
12	1,25	-1,25	9,02	0,65
13	2	-1,25	6,24	1,31
13	2	-1,25	-3,04	1,31
14	2	-0,8	-2,16	0,47
15	2	-0,4	9,44	-0,27
15	2	-0,4	9,35	0,21
16	2	0,1	-0,58	-1,36
17	2	0,45	0,17	-0,24
18	2	0,9	1,57	-3,1
19	2	1,25	1,07	-0,44
19	2	1,25	6,09	3,95
20	1,5	1,25	-10,02	0,76
20	1,5	1,25	-5,74	0,34
21	0,8	1,25	-7,27	0,03
22	0,15	1,25	-7,53	-1,62
22	0,15	1,25	-9,48	0,03
23	-0,5	1,25	-9,23	-0,21
24	-1,25	1,25	-11,79	0,07
24	-1,25	1,25	-14,53	-0,71
25	-1,65	1,25	-3,26	2,48
1	-2	1,25	-9,8	3,86

Диаграмите на натоварването на крепежната конструкция са представени на фиг. 2 и фиг. 3.

Приема се това натоварване да се изменя линейно между точките, в които то е получено и се заменя с еквивалентни сили по познатите от статиката начини. Получените сили се редуцират за горна средна точка A' .



Фиг. 2



Фиг. 3

Изчислени са главният вектор R и главният момент $M_{A'}$, когато подземната конструкция се натовари

- само с нормално равномерно разпределен товар (редове 2 и 3 от таблица 4),
- само с нормално линейно разпределен товар (редове 4 и 5 от таблица 4) (фиг2),
- само с нормално и тангенциално равномерно разпределени товари (редове 6 и 7 от таблица 4),
- с нормални и тангенциални линейно разпределени товари (редове 8 и 9 от таблица 4) (фиг3).

Таблица 4

1	R kN	$M_{A'}$ kNm	$R_{кр}$ kN	k
2	8845,9	-8199,6	11361,6	1,284
3	8845,9	-	10877,9	1,230
4	6932,2	516,7	10879,8	1,570
5	6932,2	-	10877,9	1,569
6	8469,3	-9494,9	11521,8	1,360
7	8469,3	-	10877,9	1,284
8	7698,3	-8481,1	11394,6	1,480
9	7698,3	-	10877,9	1,413

При това натоварване са получени критичната сила и коефициента на сигурност с отчитане и без отчитане на главния момент. От получените резултати (табл.3) следват следните изводи.

- Включването на главния момент от редуцията на земния натиск при статично положение в критичната сила води до увеличен коефициент на устойчивост. Това увеличение достига 5,59%.

- Когато се вземе под внимание нормалното и тангенциално неравномерно натоварване се получава по-малък коефициент на устойчивост спрямо коефициента, получен при отчитане само на нормалното неравномерно натоварване. Това намаление е 5,7%.

- Коефициента на устойчивост при отчитане само на нормалното и тангенциално равномерно-разпределено натоварване е по-голям спрямо коефициента получен при отчитане само на нормалното равномерно-разпределено натоварване.

Изложената теория може да се приложи практически при други форми на напречното сечение като елиптичната, трапецовидната и др. Принципът на този метод се запазва, но конкретното неравномерно натоварване се определя за всеки конкретен случай. Към него може да се добави и влиянието на сеизмичните сили.

Литература

Gilmore R., 1981. Catastrophe theory for scientists and engineers, Arlington, Virginia, New York.

Минчев И. Т. 1997. *Механика на катастрофите*, С .

Минчев И. Т. 2003. *Теория на катастрофалните разрушения*, С.

Трифонов В. М. 1982. *Приложение на тънки еластични черупки с произволна форма, като крепежни конструкции на подземни изработки*, Годишник на ВМГИ, том XXVIII , св.III.

*Препоръчана за публикуване от Катедра
"Техническа механика", МТФ*