

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА КРЪГОВ МЕТАЛЕН КРЕПЕЖ ПО МЕТОДА НА ПРЕМЕСТВАНИЯТА

**Виолета Трифонова - Генова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

**РЕЗЮМЕ:** В подземните рудници при различни минногеоложки условия се използват кръгови метални крепежи за закрепване на изработките. Сводовите дъги на тези крепежи се изследват като двуставни дъги. При движение на основите дъгите се деформират. Това налага прилагане на метода на преместванията.

Разгледан е усилен крепежен елемент на шестставен пръстен. За отделните части на този елемент (дъга и хорда) са получени разрезните усилия при хоризонтално линейно преместване на основите.

### STUDY OF CIRCULAR METAL SUPPORTING ON THE METOD OF DISPLACEMENTS

*Trifonova –Guenova V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>University of Mining and Geology "St. Iv. Rilski", 1700 Sofia

**ABSTRACT:** In underground mines, circular metal fasteners to attach the workings are used under different mining and geological conditions. Arches of these fasteners are examined, as two bearings arcs. During the foundations' movement the arches are deformed. This requires the application of the method of displacements.

A hard ring supporting construction with six bearings is studied. The internal forces in the horizontal of foundation's linear displacement were obtained for the different parts of this element (arc and chord).

В практиката се използват ставни крепежи, които са подложени на натиск от всички страни. Формата им е най-често кръгова. Разглеждаме ставен метален крепеж, състоящ се от различен брой дъги, натиснати с различен товар. В най-неблагоприятно положение обикновено са сводовите дъги. Усилията в ставите и разрезните усилия на горния сводов елемент от действието на външно постоянно натоварване се определят по познатите методи (Гелескул М. Н., Каретников В.Н., 1972).

За изследване на крепежа при премествания, които възникват вследствие слягане, земетръс и други такива въздействия, тези методи са неприложими. За изследване на разрезните усилия се прилага „метода на преместването“. Приема се че ставите на сводовите дъги са подложени на хоризонтално преместване следствие на което дъгата се деформира. Двете опорни стави на дъгата и ключът се преместват хоризонтално, а вертикалното преместване на ключа се пренебрегва. За изследване на разрезните усилия се прилага „метода на преместването“. Съгласно възприетия метод първо се определят разрезните усилия в точка С ( $N_C^o, Q_C^o, M_C^o$ ) при посоченото статично натоварване (Минчев, 2007). Тези усилия се преместват и създават разрезните усилия чиито изрази са предмет на определяне.

Настоящата работа има за цел да разшири приложението на метода при дъги от ставни пръстени. За тези конструкции е известно статичното решение при постоянно натоварване.

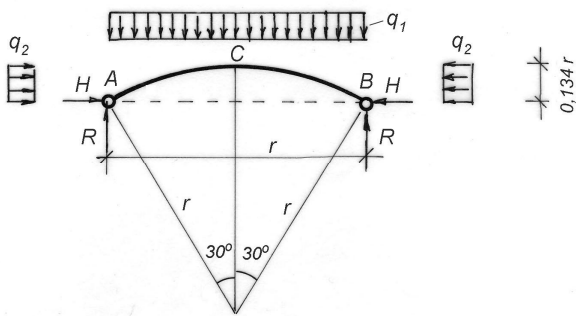
Разглеждаме подземна дъга натоварена с равномерно разпределен вертикален товар  $q_1$  и равномерно разпределен напречен товар  $q_2$ , който е равен на вертикалния по коефициента на страничен натиск  $\lambda$ , както е показано на фиг.1а. Опората А се е преместила в  $A_1$ , В във  $B_1$  а ключа С в  $C_1$ . Вертикалното преместване на ключа се пренебрегва, а хоризонталното преместване отбелязваме с  $\delta$ . Хоризонталните премествания на опорите е  $u$  (фиг.1б). Огъващият момент за сечение  $x$  има вида:

$$M(x) = N_C^o(0,134r - x) + Q_C^o \left[ A_1 \cos ax + A_2 \sin ax + \frac{bx}{a^2} - \frac{c+e}{a^2} \right] + M_C^o \quad (1)$$

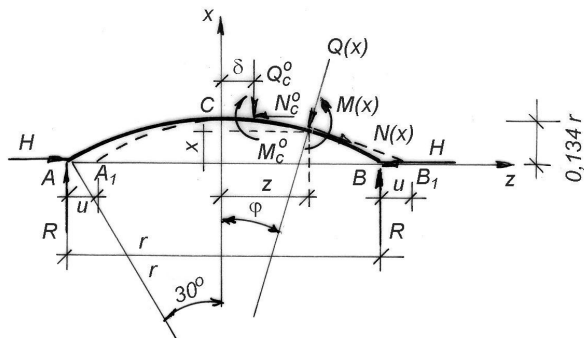
$$\text{където } Q_C^o = \frac{q_1 \delta}{2}$$

$$A_1 = -\frac{1}{a^2}(a^2\delta - c - e) \quad A_2 = \frac{1}{a} \left( \alpha_B - \frac{b}{a^2} \right) \\ \delta = \frac{r}{2} + u + \frac{1}{a^2}(c+e) + A_2 \operatorname{tg}(0,134ar) + \\ + \frac{1}{a^2 \cos(0,134ar)}(0,143br - c - e) \quad (2)$$

Последното уравнение е изразът за хоризонталното преместване на върха С на дъгата  $\delta$ .



Фиг. 1 а



Фиг. 1 б

В горните изрази са въведени следните означения:

$$a^2 = \frac{Q_C^o}{EJ_y} \quad b = \frac{N_C^o}{EJ_y} \quad c = \frac{0,143r N_C^o}{EJ_y} \quad e = \frac{M_C^o}{EJ_y} \quad (3)$$

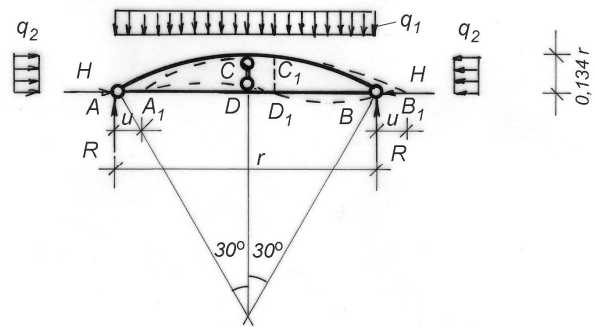
Разрезните усилия  $N_C^o, Q_C^o, M_C^o$  са получени при статично състояние на конструкцията. Тук  $\alpha_B$  е завъртането на дясната опора на дъгата при статично натоварване.

При преместване на кръгов крепеж, горната дъга от шестставен елемент има огъващ момент определен от уравнение (1).

За случай на шестставен укрепен елемент на кръгов крепеж (фиг.2), разглеждаме поотделно дъгата ABC и хордата AB. Огъващият момент в деформираната дъга има вида даден в уравнение (1). Хордата се разглежда като еластично подпряна греда, натоварена със силите в ставите  $N_A, Q_A$  и  $N_B, Q_B$  от статичното решение (Трифонова-Генова В. М. 2010). Тези сили са вертикални и хоризонтални и са получени по методитена статиката. Хоризонталните премествания в двата края на хордата се приемат еднакви. Освен това оста  $x$  на координатната система съвпада с оста на недеформируемата хорда, а оста  $z$  да е насочена вертикално надолу. Огъващият момент в произволно сечение на хордата при хоризонтално преместване на опорите  $u$  се определя от израза:

$$M(x) = Q_A^o(x-u) + N_A^o \frac{b_1}{a_1^2} \left\{ \frac{r}{\sin(a_1 r)} \sin[a_1(u-x)] + u-x \right\} \quad (4)$$

където  $a_1^2 = \frac{N_A^o}{EJ_y}, \quad b_1 = \frac{Q_A^o}{EJ_y} \quad (5)$



Фиг. 2

Получените изрази за огъващите моменти се прилагат след уточняване на изразите за разрезните усилия и на завъртането в определени сечения при статично натоварване. За конкретни конструкции и при конкретно натоварване тези изрази ще бъдат дадени в следните примери:

Пример 1.

Горна дъга от шестставен крепеж с радиус  $r$  е натоварен с вертикален  $q_1$  и хоризонтален  $q_2$  равномерно разпределени товари (фиг.1). Приема се че основите са подложени на хоризонтално преместване  $u$ . За да се приложат формули (1-3) е необходимо да се определят разрезните усилия при постоянно натоварване (Гелескул Н. Н., Каратников В.Н. 1972). За разглеждания крепежен пръстен разрезните усилия във върха на двуставната дъга имат вида:

$$N_C^o = (0,578q_1 + 0,433q_2)r \quad (6)$$

$$M_C^o = (0,45245q_1 + 0,0064007q_2)r^2$$

Завъртането на дясната опора на горната дъга се определя с интегралите на Мор (Дарков А. В., Кузнецов Б. И. 1956). В тези формули са пренебрегнати нормалните сили:

$$EJ_y \alpha_B = \int_0^{\frac{\pi}{6}} M_{y,ABC}^{(P)}(\varphi) M_{y,1}^{(I)}(\varphi) r d\varphi + \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_{y,ABC}^{(P)}(\varphi) M_{y,2}^{(I)}(\varphi) r d\varphi \quad (7)$$

Прието е текущият ъгъл да се изменя от вертикалата до разреза. Тогава изразът за огъващият момент вследствие земен натиск приема вида:

$$M_{y,ABC}^{(P)}(\varphi) = q_1 r^2 (0,433 \cos \varphi - 0,375) + q_2 r^2 (0,5 \cos^2 \varphi - 0,433 \cos \varphi) \quad (8)$$

При натоварване с единичен момент в дясната опора на дъгата, за опорните реакции в ставите А и В се получават изразите:

$$H_A = H_B = -\frac{1}{\sqrt{3}} \quad R_A = R_B = \frac{1}{r} \quad (9)$$

Като се приеме, че текущият ъгъл  $\varphi$  се изменя от вертикалата до разреза, единичните огъващи моменти в двата участъка имат вида :

$$M_{y,1}^{(1)}(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cos \varphi + \sin \varphi$$

$$M_{y,2}^{(1)}(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cos \varphi - \sin \varphi \quad (10)$$

След заместване на гореописаните моменти в уравнението за завъртането в сечение В получаваме израза:

$$EJ_y \alpha_B = r^3 (0,31851q_1 + 0,54694q_2) \quad (11)$$

Получените разрезни усилия  $N_C^o, M_C^o$  и завъртането  $\alpha_B$  участват в уравнение (1) от което се получава диаграмата на огъващият момент  $M_y$  в дъгата на шестставния крепеж.

Пример 2.

Разглежда се уякчен елемент от шестставен крепежен пръстен. Той се състои от дъга ABC и хорда AB (Мирчев А., Косева Ч. 1988). Разрезните усилия във върха на дъгата при статично натоварване са:

$$N_C^o = (0,433q_1 + 0,299q_2)r$$

$$M_C^o = 0,067r^2(-q_1 + q_2) \quad (12)$$

Статичните усилия в двата края на хордата имат вида:

$$N_A^o = N_B^o = -(0,458q_1 - 0,001q_2)r$$

$$Q_A^o = Q_B^o = (0,00765q_1 - 0,1685q_2)r \quad (13)$$

За шестставният укрепен елемент завъртането в опората В се определя от израза (Дарков А. В., Кузнецов Б. И. 1956):

$$EJ_y \alpha_B = \int_0^{\frac{\pi}{6}} M_{y,ABC}^{(P)}(\varphi) M_{y,1}^{(1)}(\varphi) r d\varphi +$$

$$+ \int_0^{\frac{\pi}{6}} M_{y,ABC}^{(P)}(\varphi) M_{y,2}^{(1)}(\varphi) r d\varphi +$$

$$\int_0^r M_{y,horda}^{(P)}(x) M_{y,horda}^{(1)}(x) dx \quad (14)$$

Огъващите моменти в произволно сечение  $x$  от гредата и хордата имат вида (Мирчев А., Косева Ч. 1988.):

$$M_{y,horda}^{(P)}(x) = (0,00765q_1 - 0,1685q_2)xr \quad (15)$$

$$M_{y,ABC}^{(P)}(x) = q_1 r^2 m_a + q_2 r^2 m_b$$

където

$$m_a = (0,89 \cos \varphi - 0,008 \sin \varphi - 0,77)$$

$$m_b = (0,5 \cos^2 \varphi - 0,43 \cos \varphi + 0,169 \sin \varphi - 0,083) \quad (16)$$

Натоварваме укрепеният елемент с единичен момент в опората В. За да се определят опорните реакции е необходимо да се реши два пъти статично неопределимата система. За неизвестни са избрани усилието в пръта CD, което е прието за  $X_1^{(1)}$  и усилието в хордата AB означено с  $X_2^{(2)}$ . Тези неизвестни се определят от следната системата канонични уравнения :

$$EJ_y \delta_{11} X_1^{(1)} + EJ_y \delta_{12} X_2^{(1)} + EJ_y \delta_{1,p} = 0$$

$$EJ_y \delta_{21} X_1^{(1)} + EJ_y \delta_{22} X_2^{(1)} + EJ_y \delta_{2,p} = 0 \quad (16)$$

Коефициентите в горните уравнения са определени чрез интегралите на Максвел-Мор и имат вида :

$$EJ_y \delta_{11} = 0,0419r^3,$$

$$EJ_y \delta_{12} = EJ_y \delta_{21} = 0,0143r^3,$$

$$EJ_y \delta_{22} = 0,01r^3, EJ_y \delta_{1,p} = 0,07225r^2$$

$$EJ_y \delta_{2,p} = -0,0528r^2 \quad (17)$$

Заместваме получените коефициенти в системата (16) и определяме неизвестните усилия в пръта и хордата:

$$X_1^{(1)} = -\frac{6,885}{r} \quad X_2^{(1)} = \frac{15,122}{r} \quad (18)$$

Чрез така получените величини са изразени опорните реакции и огъващите моменти за двата участъка на дъгата ACB, както и момента в хордата :

$$M_{y,1}^{(1)}(\varphi) = -15,7 \cos \varphi + 4,4425 \sin \varphi + 11,3744$$

$$M_{y,2}^{(1)}(\varphi) = -15,77 \cos \varphi + 2,4425 \sin \varphi + 11,3744 \quad (19)$$

$$M_{y,horda}^{(1)}(x) = -\frac{3,4425x}{r}$$

Окончателно за завъртането в сечение В на шестставния укрепен елемент се получава:

$$EJ_y \alpha_B = r^3 (12,745q_1 + 0,851q_2) \quad (20)$$

Получените величини при статично натоварване участват в изразите за огъващите моменти в дъгата и хордата дадени в уравнения (1) и (4). С това може да се счита че решението на усилен шестставен крепеж при хоризонтално преместване на ставите е завършено.

Получените изрази от двата примера позволяват да се изчислят и построят диаграмите на огъващите моменти в разглежданите дъги от шестставен крепеж и усилен шестставен крепеж за конкретна конструкция и натоварване.

Използваната теория и получените резултати са свързани с изчисляването както на ставни пръстени, така и на дъгови подземни конструкции. При движение в дадено направление е необходимо да се изследва деформирането на крепежа. Това изменение може да се пренебрегне или да бъде решаващо при изчисляването.

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

## **ЛИТЕРАТУРА**

- Гелескул М. Н., Каретников В.Н. 1972. *Справочник по крепленю горных выработок*, М., Недра.
- Дарков А. В., Кузнецов Б. И. 1956. *Строительная механика*, М.
- Минчев И. Т. 2006. *Метод на преместванията*, С.
- Мирчев А., Косева Ч. 1988. *Ефективен начин за усилване елементите на стоманени крепежни конструкции*, Годишник на ВМГИ, том XXXIV, св. II.
- Трифенова-Генова В. М. 2010. *Устойчивост на затворени подземни конструкции*, Годишник на МГУ „Св. Ив. Рилски“, том 53, св. II.