

## ОПТИМАЛНО РАЗПОЛАГАНЕ НА АНКЕРНАТА МРЕЖА ПРИ УКРЕПВАНЕ НА ЦЕЛИЦИ

**Юлиян Димитров**

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, България, juldin@abv.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Оразмеряването на целици и камери е съпроводено с решаването на комплекс от геомеханични задачи. Теоретичните средства за оразмеряването са изведените зависимости между геомеханични параметри, получени по някои от методите на граничното състояние. Същевременно, поради начина на получаване на данните и използваната технология за разработване, параметрите имат установена точност на емпирично представяне. Обсъжда се въпросът за укрепване с анкери на скален масив, изчислено по метода на граничното равновесие. Систематизират се основните параметри на анкерния крепеж. Определя се локална плътност на анкерния крепеж. Предлага се метод за оптимизиране на анкерната мрежа при системно прилагане на минните работи.

### OPTIMAL DISPOSITION OF ANCHORS GRID ON BOLTING OF PILLARS

**Yulian Dimitrov**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, juldin@abv.bg*

**ABSTRACT.** The dimensioning of pillars and rooms is connected with decision of complex of geomechanical tasks. The deduced dependencies between geomechanical parameters are theoretical means for dimensioning, which are received from some methods of a boundary state. But, because of the way of data's obtaining and used technology of mining, the parameters have an established precision of empirical presenting. In this material is discussed a problem for reinforcement with anchor bolts of rock mass, calculated with the method of boundary equilibrium. There is determined local density of the anchor support. There is offered a method for optimization the anchors grid in systematic applying of mining works.

### Увод

При оразмеряване на целиците, независимо от предназначението им се използват средни стойности на определящите параметри. Същевременно, в реални условия, често свойствата в конкретната част от скалното тяло рязко се различават от средните значения. Някои от тези свойства са свързани и с бърза промяна на квазиеластичния характер на скалата.

Разрушенията в един от целиците и променените му възможности да поеме натиска могат да доведат до неблагоприятно преразпределение на напреженията. Същевременно, укрепването с анкери на целиците е икономически изгодно и повишава степента на сигурност на цялата крепежна система.

Основна характеристика на квазиеластичния масив е, че свойствата му като еластична среда се проявяват при определени характерни размери (моделни елементи) – т.е. скалният масив се моделира като дискретна среда съставена от тези елементи. Анкерният крепеж променя еластичните свойства на скалата, но се прилага чрез въздействие в отделни точки или отсечки от скалното тяло. Така при анкерирание, от една страна се повишават стойностите на якостните параметри, а от друга - се променя неравномерно полето на напреженията в скалата. Това от своя страна поставя въпроса за определяне на гъстотата на

анкерната мрежа по начин, който да съответства на технологичните ограничения.

### Цел

Да се представят основните параметри на анкерния крепеж и разискват възможностите за оптимизиране.

Да се въведе параметър локална плътност на анкерната мрежа и предложи критерий за оценка на равномерното разпределение на анкерите.

### Основни параметри на анкерната мрежа

Следвайки Николаев (1989) можем да формулираме следните основни функции на анкера:

- 1• **Осъществява връзка** между точки с различни деформационни потенциали;
- 2• **Възпрепятства и забавя механичните премествания** в направление на анкера;
- 3• **Преразпределя напреженията в масива;**

4• Увеличава съпротивителните сили между елементите на механични системи, формиращи се около минна-та изработка;

5• Технологични функции – осъществява окачване при свързване на тавана и свързване при предотвратяване на подуване на пода. По този начин анкерът оказва съпротивление, при което се възпрепятстват механични движения.

Основните параметри на анкерния крепеж при използване на анкери от един и същи вид и с едни и същи размери са:

#### 1♦ Дължина $l_a$ на анкера

Определя се от разстоянието между точка от стената и вътрешна точка, до която достига анкера.

#### 2♦ Коефициента $E$ на еластичност на анкера

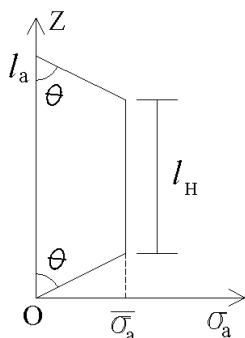
За ефективна продължителна работа на анкера е важна неговата податливост. Повечето видове анкери използват за свързване метален прът или метална тръба. Този вид анкери имат коефициент на еластичност близък до коефициента на еластичност на стоманата. Железобетонните анкери и други видове също имат еластични свойства.

#### 3♦ Носимоспособност на анкера

Това е гранично анкерно усилие, което може да се реализира при един анкер. Зависи от вида на анкера и неговите технически характеристики.

#### 4♦ Анкерна сила $P_a$

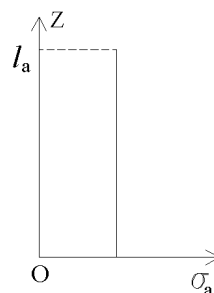
Силата действаща между анкерната плоча и главата на анкера при експанзивни анкери. При ТФА (тръбен фрикционен анкер), при равномерно разпределение на усилията по тръбата, този параметър се заменя с анкеризираща способност  $\sigma_a = \frac{\Delta P_a}{\Delta l_a}$  в точка от тялото на анкера (Димитров и Никколаев, 2005) (фиг.1).



Фиг. 1. Параметъра  $\sigma_a$  за ТФА в пределно състояние без монтирана планка

Величината  $\sigma_a$  при експанзивните анкери е  $\sigma_a = \frac{P_a}{l_a} = const$  (фиг.2);

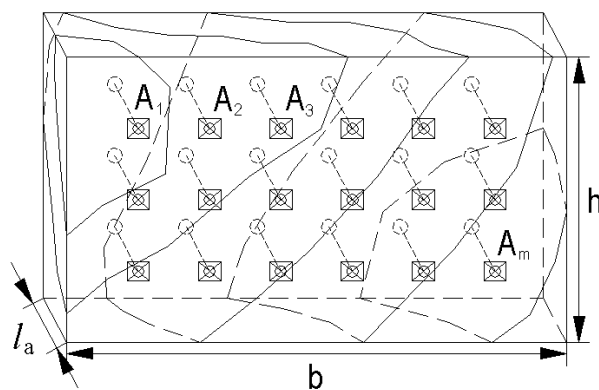
Лицето на правоъгълника на фиг.2 представлява анкерната сила  $P_a = l_a \sigma_a$ . По аналогия при ТФА анкерната сила се представя с лицето на трапеца заграден от графиката на  $\sigma_a$  от фиг.1:  $P_a = \frac{l_a + l_H}{2} \sigma_a$ , където  $\sigma_a$  е означена стойността на анкеризиращата способност  $\sigma_a$  на по-голямата част от анкера (без точки близки до двата края на анкера).



Фиг. 2. Параметъра  $\sigma_a$  за експанзивен анкер

#### 5♦ Дължина, височина, дълбочина, лицева повърхнина и вътрешна повърхност на крепежа

Анкерният крепеж при системно анкеризиране се състои от равномерно разположени анкери, монтирани в скално тяло (фиг.3).



Фиг. 3. Анкерен крепеж с равномерно разпределени анкери и слоеве на скалното тяло

Параметрите на крепежа са дължината  $b$ , височина  $h$ , дълбочина равна на дължината на анкера  $l_a$ . Анкерният крепеж има *лицева повърхнина* от която са монтирани анкерите и *вътрешна повърхност* – до където достигат анкерите. Между двете повърхнини на анкерния крепеж действа анкерно усилие  $T$ ;

### 6♦ Анкерно усилие $T$ в точка от анкерната мрежа

Нека  $P_a^i$  е анкерната сила в  $i$ -тия анкер и  $n$  е броят на анкерите в мрежата.

$\sigma_a^i$  е анкерирателната способност в  $i$ -тия анкер.

$P = \frac{\sum l_a \sigma_a^i}{n}$  е средната анкерирателна сила за анкерната

мрежа при експанзивни анкери.  $T = \frac{nP}{bh} = \frac{l_a \sum \sigma_a^i}{bh}$ ,

наричаме *анкерно усилие в точка на анкерния крепеж*.

За ТФА от Димитров и Николаев (2005) за фиг.3  $tg\theta = 4\alpha \tau_a \mu_\theta \sigma_\tau$ , където:

$\tau_a$  – радиус на тръбата;

$\alpha$  – ъгъл ограничаващ площта на контакт на тръбата;

$\mu_\theta$  – коефициент на триене;

$\sigma_\tau$  – нормално напрежение на еластичните сили на тръбата;

За анкерното усилие в точка от анкерния крепеж се

получава  $T = \frac{\sum (l_a tg\theta - \sigma_a^i) \sigma_a^i}{bhtg\theta}$ .

### 7♦ Направление на анкера спрямо стената на изработката

Анкера се монтира перпендикулярно или под определен ъгъл спрямо стената. Направлението на анкера се определя от мястото му спрямо геометрията на анкерния крепеж.

### 8♦ Гъстота на анкерите

Изчислява се като брой анкери на квадратен метър при системно анкериране на определена площ – стена или таван в изработката.

## Избор на модел за оразмеряване на анкерния крепеж

Оразмеряването на анкерния крепеж започва с определянето на някое от следните условия:

- Анкерните усилия, които трябва да се приложат на стената;
- Големината на преместванията на стената в перпендикулярно направление, които трябва да се ограничат;
- Определяне на анкерните усилия, необходими за ограничаване на преместванията между елементите на механична система.

Основните методи за оразмеряване на анкерния крепеж на таван са развити в Николаев (1989):

- Анкерование при средно блоков скален строеж с рационална форма на тавана – свод.

На ширината на тавана са разположени от три до шест броя скални блокове (моделни елементи);

- Анкерование при плочеста структура.

Тавана се състои от оформени от пукнатини плочи (моделни елементи), които са свързани със сили на

триене. Формата на тавана е свод или правоъгълник. Схематично се приема, че моделните елементи образуват съставна греда от три части.

- Анкерование при средно мощни и тънки слоеве.

Таванът се състои от отделни слоеве. Моделните елементи са скални тела, които се оразмеряват като запънати или свободни греди.

При всички тези модели се изчисляват параметрите на анкерите, така че да предотвратят опасни динамични прояви. В настоящия материал спираме вниманието си върху определяне на плътността на анкерната мрежа при анкерирани на целици. Съгласно Ержанов, Серегин и Смирнов (1983) необходимото анкерирателно усилие  $T$  е резултат на решаването на задача за еластичен скален масив. От друга страна  $T$  е сума на еластичните усилия в анкера и усилията на сцепление (или триене) между анкура и скалата.

## Определяне на плътността на анкерната мрежа

Анкерите най-често се разполагат по начин определен от опита на изпълнителя и има и някои правила утвърдени в практиката. В някои случаи, обаче, е необходимо при вече монтирана анкерна мрежа да бъде допълнително съгъстена. От друга страна, така като се описва локално полето на напреженията на анкерирани скала е необходимо да може да се представи и локален параметър за плътност на анкерите. На фиг.3 е илюстриран анкерен крепеж, в случаите на системно анкерирани.

Поради почти успоредното направление на анкерите в крепежа, можем да сведем въпроса до определяне на плътността на местата на планките на анкерите по лицевата повърхнина на крепежа – точки  $A_1, A_2, \dots, A_n$  на фиг.3. Понятието плътност на анкерите ще въведем аналогично на Димитров (1988). С използването на това понятие могат да се получат числени решения на задачи за равномерно разпределяне на анкерната мрежа, избор на местата за монтиране на допълнителни анкери и получаване на графично изображение на плътността на анкерите, взета по графиката на основен параметър на полето на напреженията (или деформациите).

За численото решаване се използва равномерна мрежа  $W$  от точки (възли) със стъпка  $d$ , разположена в лицевата повърхнина. Ще смятаме, че всички точки от лицевата повърхнина, с които работим са от мрежата  $W$ . Приемаме, че точките  $A_1, A_2, \dots, A_n$  са поасоново разпределени – в сила са свойствата:

1. За всеки кръг или кръгов пръстен с лице  $S$  вероятността  $P_m$  да попаднат  $m$  на брой от точките  $A_1, A_2, \dots, A_n$  в него зависи само от лицето  $P_m = P_m(S)$ ;

2. Ако е взет кръг или кръгов пръстен с достатъчно малко лице  $\Delta S$ , то вероятността  $P_1$  да попадне една точка в него е приблизително пропорционална на  $\Delta S$ , като  $P_1(\Delta S) = \Delta S + O(\Delta S)$ . Вероятността да попаднат две или повече точки е пренебрежимо малка.

Приемаме, че постулатите на поасоновото разпределение отговарят с достатъчна точност и на случая на подредени в правоъгълна мрежа анкери. По този начин се създава възможност със средствата на геометричната вероятност да се изведат удобни правила, свързани с гъстотата на точките.

Нека  $T_0$  е произволен възел от  $W$ . Тогава локалната плътност на точките  $A_1, A_2, \dots, A_n$  около точка  $T_0$ , наричаме числото

$$l = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i} \right)^2}{\left( \sum_{i=1}^n q_i \right)^2}, \quad (1)$$

където  $D_i = |T_0 A_i|$  е разстоянието между точката  $T_0$  и  $A_i$  и

$$q_i = 2 \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \dots \cdot \frac{2i-2}{2i-1}. \quad (2)$$

В Димитров (1988) са изследвани свойствата на локалната плътност. В общия случай на прилагане на горната формула броя  $n$  може да бъде заменен с  $m < n$ , където  $m = 6 \div 8$ .

В резултат от действието на анкерите се поражда допълнително поле на напреженията, което се сумира с полето на напреженията на скалата. Достатъчно представителен параметър за това поле е интензивността на напреженията  $\sigma$  изразена с известната зависимост

$$(6\sigma)^2 = (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + (\sigma_x - \sigma_y)^2 + 6(\tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 + \tau_{xy}^2) \quad (3)$$

Нека  $S_0 = bh$  е лицето на лицевата повърхнина на крепежа. Използваме координатна система  $Ox\eta\sigma$  с равнина  $Ox\eta$  по лицевата повърхнина и по  $\overrightarrow{O\sigma}$  се отчита интензивността на напреженията в масива по избрана повърхнина, успоредна на лицевата. При стандартизиране чрез трансформацията  $Ox\eta\sigma \rightarrow Ouvw$

$$\begin{aligned} u &= \frac{x}{\sqrt{S_0}}, \\ v &= \frac{y}{\sqrt{S_0}}, \\ w &= \frac{\sigma}{\sigma_{cp}}. \end{aligned} \quad (4)$$

И нека  $P = \frac{L}{\sqrt{1 + w_u'^2 + w_v'^2}}$  е плътността на точките

$A_1, A_2, \dots, A_n$  отчетена по графиката на  $\sigma$ .

След връщане на трансформацията за плътността на анкерите по графиката на интензивността на напреженията се получава:

$$P = \frac{\sigma_{cp} \cdot S_0 \left( \frac{\sum_{i=1}^m \frac{1}{D_i}}{\sum_{i=1}^m q_i} \right)^2}{\sqrt{\sigma_{cp}^2 + S_0 \sigma_x'^2 + S_0 \sigma_y'^2}} \quad (5)$$

## Реализация и изводи

Частните производни  $\sigma'_x$  и  $\sigma'_y$  в (5) се определят числено чрез стойностите на  $\sigma$  в точки близки до  $T_0$  от възлите на мрежата  $W$ .  $T_0$  е точка в която се определя  $P$  по метода, приложен в Димитров (1988). В тази публикация е представена и изчерпателно илюстрирана реализацията на метода за дискретно числено моделиране на плътността на "замерни станции", които могат да бъдат и анкерите.

Формулираните основни параметри и понятия за анкерния крепеж създават възможност за числено моделиране и усъвършенстване на методите за оразмеряване, както за експанзивни анкери, така и за анкери от тип ТФА. Дискретното представяне на параметрите на анкерната мрежа, дава възможност за числено решаване на задачи по разполагане на анкерите.

Предлагания метод за числено оценяване на плътността на анкерната мрежа отчетена по интензивността на напреженията е оптимален метод за решаване на задачите на граничното напрегнато (равновесно) състояние. Той дава възможност:

- да се изобрази карта на  $\sigma$  и да се получат областите, където е достигнато гранично състояние  $\sigma \geq K$  ( $K$  е коефициента на сцепление);
- да се получат площни карти на параметъра плътност на анкерите  $P$  и
- да се изобразят областите, където е необходимо да се монтират допълнителни анкери.

## Литература

- Димитров Ю., 1988. Определяне на нови замерни станции при прогнозиране на геомеханичните показатели на базата на геометрична достоверност, *Год. ВМГИ*.
- Димитров Ю., Н. Николаев, 2005. Моделиране на полето на напреженията около тръбен фрикционен анкер, *SGMM 2005, стр. 61-69*.
- Ержанов Ж.С., Ю.Н. Серегин, В.Ф. Смирнов, 1983. *Расчет нагруженности опорных и поддерживающих целиков*, Алма-Ата, Наука.
- Николаев Н., 1989. *Развитие на теорията и практиката на анкерния крепеж за подземни съоръжения*, Дисертация за д.т.н. – Архив ВМГИ.

Препоръчана за публикуване от Катедра "Математика", МТФ