

## ПРИЛАГАНЕ НА МЕТОДА ЗА ОЦЕНКА НА ЗАВИСИМОСТИТЕ ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА АНКЕРЕН КРЕПЕЖ С ТФА

Юлиян Димитров

Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София; juldim@abv.bg

**РЕЗЮМЕ.** Моделите на минните технологии се основават на механика на непрекъснатите среди и на специални хипотези. Поради технологични и други причини параметрите на тези модели са с голяма грешка.

При числена реализация моделите на минните технологии се представят чрез краен брой дискретни (моделни) елементи. Същевременно технологичните ограничения на точността на параметрите, също водят до обособяване на моделни елементи при числения модел.

В настоящата статия се прилага метод за оценка на зависимостите Method for Valuation of Dependence (MVD) при решаване на задачата за оразмеряване на анкерен крепеж с анкери ТФА и определяне на коефициента на презапасяване

### APPLICATION OF THE METHOD FOR VALUATION OF DEPENDENCES AT ANCHOR BOLTS DIMENSIONING WITH TFA

Julian Dimitrov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; juldim@abv.bg, kho@mgu.bg

**ABSTRACT.** The models of the mining technology are based on mechanics of continuous environments and on special hypotheses. Because of the technological and other reasons, the parameters of these models have big errors.

At numerical realization the models of mining technology are presenting by limited number of discrete (modelling) elements. The technological restrictions of the parameter's precision also lead to differentiating the model elements at numerical model.

In this paper a Method for Valuation of Dependence (MVD) is applied in solving the task for dimensioning of the anchor bolts with TFA and defining the coefficient of hoarding.

### Въведение

В зависимост от начина по който получават числените им стойности различаваме най-общо три вида минни параметри:

Вид I - метрични с относителна грешка 5% и повече;

Вид II - якостни и други свойства на скалата, получени от лабораторни и натурни изследвания – 20% грешка и

Вид III - действителен натиск, стойности на компонентите на напреженията и други въздействия върху масива – 50% ÷ 100% грешка.

а) Точност на линейните размери – Вид I – 5%

Основните линейни параметри на анкерния крепеж са:

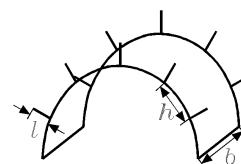
$l$  - работна дължина на анкера,  $h$  - разстояние между анкерите в една секция и  $b$  - разстояние между секциите (Фиг. 1.). Линейни параметри на минна изработка:  $s$  - линеен размер на целик,  $q$  - височина на изработката и  $p$  - ширина на изработката (Фиг. 2.).

По технологични съображения приемаме точността на

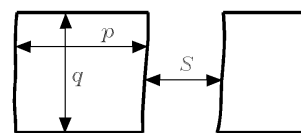
линейните размери – 5% относителна грешка.

б) Точност на параметрите на масива, получени от лабораторни изследвания – Вид II – 20%

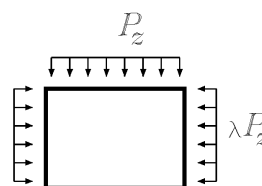
Чрез лабораторни изследвания се получават стойностите на параметрите:  $\gamma$  - обемно тегло на скалата,



Фиг. 1. Параметри на анкерен крепеж



Фиг. 2. Параметри на минна изработка



Фиг. 3. Схема на натиска върху крепежа

$\sigma_H$  - якост на натиск,  $\sigma_{OP}$  - якост на опън,  $E$  - модул на Юнг,  $G$  - модул на срез,  $\nu$  - коефициент на Поасон,  $\lambda$  - коефициент на страничен отпор,  $\varphi$  - ъгъл на вътрешно триене,  $C$  - сцепление. При лабораторно определяне на стойностите на параметрите се допуска грешка, която можем да се приеме за 20% относителна грешка.

Причини: условията, при които се правят лабораторните изследвания, мащабен ефект, използването на средни стойности на параметрите и др.

в) Точност на изчисления натиск върху крепежа – Вид III - 50%-100%.

Най-голяма неточност има при изчисляването на натиска върху крепежа (фиг.3). Приемаме 50% относителна грешка за определянето на натиска върху крепежа.

Причини:

- несъответствие на изчислителната схема на миннотехническите условия;
- неточност на изчислителната схема;
- данните за крепежа се получават по косвен път – наблюдения в други минни изработки, при аналогични условия.

Основният проблем при оразмеряването на целиците и камерите е, че трябва да се получат метрични величини с точност 5% относителна грешка, докато другите параметри са много пъти по-неточни.

Друг проблем е, че участващите в зависимостите параметри са неравнопоставени относно начина по който се получават техните числени стойности. Едни и същи физични величини в даден случай могат да бъдат разглеждани като *случайни величини* и да се окажат в някой от посочените Вид I, Вид II или Вид III. В друг случай тези величини трябва да се приемат, като точно зададени параметри – *еднозначно определени величини*. Такива са параметрите зададени с презапасяване. Други такива параметри са константите, които имат една определена стойност. Към еднозначно определените величини трябва да се отнесат и такива, на които стойностите са определени теоретично – например параметъра приведен радиус.

## Оценка на зависимостите между минни параметри

*Определение:*

Нека  $\varepsilon > 0$  е избрана максимална стойност на локалните разстояния в  $X$  и са дадени две точки  $A_0$  и  $A$ , като  $\|AA_0\| \leq \varepsilon$  и  $B_0 = F(A_0)$ ,  $B = F(A)$  ( $B_0, B \in Y$ ). Нека отсечката  $\overline{AA_0}$  не пресича координатна равнина и  $S \in \overline{AA_0}$ . Нека

$$\|AA_0\|_S = \sqrt{\sum_i \left( \frac{x_i - x_i^0}{s_i} \right)^2} \text{ е } \text{относителното}$$

*разстояние* между точките  $A_0$  и  $A$ .

$\|BB_0\|$  - е *абсолютно разстояние* между  $B_0$  и  $B$ .

Тогава отношението  $\lambda_\varepsilon = \frac{\|BB_0\|}{\|AA_0\|_S}$  се нарича

*локално деформиране* в точките  $A_0$  и  $A$ .

Полулогаритмичната производна на  $f(x)$  се дефинира с  $\frac{\partial f(x)}{\partial \ln x} = x \frac{\partial f(x)}{\partial x}$ . Този функционал има свойствата на обичайната производна. Изпълнени са и теоремите за екстремум на функция. Същевременно частните производни на степенните функции са пропорционални на тези функции и в оптимизационни задачи се получават линейни зависимости.

В Димитров (2003) са изведени следните *свойства на полулогаритмичния градиент*:

**Свойство 1.** За всяко  $\varepsilon > 0$  съществува  $E \in \overline{A_0 A}$ , такова че

$$\frac{\|BB_0\|}{\|AA_0\|_E} \leq \sqrt{\sum_j \left( \frac{\partial f(E)}{\partial \ln x_j} \right)^2} = \text{grad}_{\ln} (f(E)) \quad (1)$$

**Свойство 2.** Изпълнено е

$$\frac{\|BB_0\|}{\|AA_0\|_S} = \sqrt{\sum_j \left( \frac{\partial f(A_0)}{\partial \ln x_j} \right)^2} + O(\|AA_0\|), \quad (2)$$

за всяко  $S \in \overline{A_0 A}$ , ако  $\overline{A_0 A}$  не пресича координатна равнина.

Условието за възстановимост на непрекъснатата зависимост от дискретно представяне, изведено в Димитров (2011), се записва във вида

$$k \cdot (1 - p) \cdot \|\text{grad}_{\ln} f\| \leq \frac{\delta}{\varepsilon}, \quad (3)$$

където  $k = \cos \varphi_0$ ,  $\varphi_0 \in \left[ 0, \frac{\pi}{2} \right]$  и  $\delta_{\text{пре}} = \|\text{grad}_{\ln} f(A_0)\| \cdot \varepsilon$  се нарича грешка при презапасяване.

За случая на два неточни аргумента

ъгълът на сегмента на критичната област е  $\varphi_0 = \frac{\pi p}{2}$  и е изпълнено  $k = \cos \frac{\pi p}{2}$ . Изведена е таблица от стойности

на коефициента  $k(1-p)^2$  и достоверността  $1-\bar{p} = 1-p^3$  (Табл. 1).

Означаваме с  $\delta_{npe} = \|\text{grad}_{ln} m\| \varepsilon$  изчислената точност на определения параметър при презапасяване.

Тогава  $k_{II} = \frac{1}{k(1-p)} = \frac{\delta_{npe}}{\delta}$ , където  $\delta$  е

допустимата точност на определяния параметър, наричаме **коефициент на презапасяване**

Таблица 1.

Стойности на коефициента  $k(1-p)^2$  и достоверността  $1-p$

k	p	$1-\bar{p}$	$k(1-p)^2$	k	p	$1-\bar{p}$	$k(1-p)^2$
0,995	0,06	0,9997	0,87	0,75	0,46	0,90	0,22
0,99	0,09	0,999	0,82	0,70	0,51	0,87	0,17
0,97	0,16	0,996	0,69	0,65	0,55	0,83	0,13
0,95	0,20	0,992	0,60	0,60	0,59	0,79	0,10
0,90	0,29	0,98	0,46	0,55	0,63	0,75	0,08
0,85	0,35	0,96	0,36	0,50	0,67	0,70	0,06
0,82	0,39	0,94	0,31	0,45	0,70	0,65	0,04
0,80	0,41	0,93	0,28	0,40	0,74	0,60	0,03

## Реализация на метода за оценка на зависимостите

### Постановка на задачата

При оразмеряване на анкерната мрежа на стена целта е да се предотврати разрушаването на тази стена, което може да е предизвикано от собственото тегло и от натиск върху област от масива, близка да стената.

Ако се приеме принципът на Протодяконов за ограничено действие на геостатичния натиск (теорията за свода) може да се приложи методът за оразмеряване на анкерна мрежа на стена, даден в Николаев и Парушев (1985).

Разглеждаме стената като част от целик между две подготвителни галерии. Приемаме, че целикът в резултат на натиска се деформира, като едно еластично в основната си част  $S^0$  призматично тяло и за една не голяма външна част  $S^1$ , за която е в сила наследствената теория за пластично деформиране на скалата. Прилагаме метода, даден от Амусин и Линков (1973). Ако не се осъществи заздравяване на целиците, процесът продължава до разрушаване на външната част и преместване на разрушението навътре в целика. Процесът на пълзене на стените се моделира с проследяването на хоризонталните премествания и определянето на функцията на пълзене  $\psi(t)$ .

### Минно-технически условия

Данните са от мина "Пеурник" за добив на въглища. Мощността на въглищния пласт е 0,9 m. Якостта на едноосов натиск 9–12 МПа. Пластовете са почти

хоризонтални. Дълбочината на залягане е  $H = 150$  m и  $\gamma = 22$  kN/m<sup>3</sup>. Сечението на подготвителната галерия е правоъгълно с ширина 3,5 m и височина 3 m. За заздравяването на тавана и стените на галерията с анкери тип ТФА до сега са използвани анкери с дължини съответно 2,40 m и 1,20 m. Разстоянието между анкерите от една линия е 0,5 m.

Размерите на целика между две подготвителни галерии са 60 на 30 метра. Височината приемаме за три метра. Механичните характеристики на целика са:

коефициент на Поасон  $\nu = 0,25$ ;

модул на еластичност  $E = 2000$  МПа.

ъгъл на вътрешно триене  $\rho = 30^\circ$

Данните за преместванията на стените са през 2 дни до настъпване на известно намаление на интензивността на преместване, а след това през 5 дни. Общо измерванията са проведени за период от 30 дни и са екстраполирани до 50<sup>-тия</sup> ден.

Таблица 2

Усреднени данни за хоризонталните премествания на стените

Дни	2	4	6	8	10	12	14	16
Премествания [mm]	2	22	34	42	49	54	59	63
Дни	18	20	25	30	35	40	45	50
Премествания [mm]	66	69	76	81	85	89	93	96

В близост до стените на подготвителните галерии, се образува зона на нарушения на скалата, която в началото поема усилия близки до пределната якост и е в пределно състояние. След кратък период на пластични деформации следва известно разтоварване – намаляване на действието на скалния натиск върху тази област. От този момент процесът на деформиране на областта се стабилизира, като продължава с по-малка динамичност във времето до пълно разрушаване на областта.

### Реологично поведение

Законът за линейно пластично деформиране е

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left( 1 + \delta \frac{t^{1-\alpha}}{1-\alpha} \right) \sigma(t) \quad (4)$$

и ако означим  $\psi(t) = \delta \frac{t^{1-\alpha}}{1-\alpha}$ , то  $E_t = \frac{E}{1+\psi(t)}$  е

формула за промяна на модула на еластичност съгласно Амусин и Линков (1973).

Ще използваме реологичен модел на скалния масив, който е експериментално изследван в Ержанов (1964). Скална разновидност най-близка по механични свойства до условията на скалния масив в мина "Перник", разгледана в този източник, е аргилитът. Характерното за аргилита е, че при изпитанията се установява относителна неравномерност на процеса на пълзене. При този реологичен модел се използват реологични параметри  $\alpha = 0,71$  и  $\delta = 0,008$  [sec<sup>1- $\alpha$</sup> ]. В лабораторни

условия скалното тяло е подложено на постоянен натиск  $P_z$  със стойност 70% - 90% от моментната якост на натиск. Поради структурата на скалата реологичният процес се съпътства от стъпаловиден във времето моментни разрушения (Баклашов, 1988). От една страна якостта на натиск на материала се намалява във времето – като можем да приемем, че това става непрекъснато. От друга страна моментните процеси на разрушаване правят този процес стъпаловиден във времето. Тази неравномерност се проявява както в лабораторни, така и в реални условия. Същевременно налице е и разлика, дължаща се на мащабен ефект и други фактори, на които се дължат по-големите хоризонтални премествания на контура на изработката.

Тази неравномерност на процеса ще моделираме като приемем, че върху деформиращата се област се въздейства многократно от силите на тежестта. Така въпреки, че натискът  $P_z$  намалява във времето, преместванията са няколко пъти по-големи в сравнение с лабораторните изчисления. При натиск равен на стойността на налягането върху крепежа в галерията за втория ден и приложен в лабораторни условия, се получават значително по-малки премествания.

Разглеждаме външната част като отделно призматично тяло, върху което въздейства натиск  $P_z$ . Поради опора във вътрешната част на целика преместванията на външната част на стената се удвояват. Следователно хоризонталните премествания се представят с формулата

$$|u| = \frac{2v_t h}{E_t} P_z, \quad \text{където} \quad E_t = \frac{E}{1 + \psi(t)},$$

$$v_t = \frac{v + 0.5 \cdot \psi(t)}{1 + \psi(t)} \quad \text{и} \quad \psi(t) = \delta \frac{t^{1-\alpha}}{1-\alpha} \quad \text{е функцията на пълзене.}$$

Приемаме, че е възможно броят на въздействията да е реално число. Т.е. имаме цяло число пъти въздействия и част от въздействие. В табл. 3. са дадени числата на въздействие, получени за преместванията дадени в табл. 2.

Таблица 3

Числата на въздействие определени за съответния ден

Дни	2	4	6	8	10	12	14	16
Числа на въздействие	1.98	7.39	8.16	7.08	8.31	8.35	8.35	8.30
Дни	18	20	25	30	35	40	45	50
Числа на въздействие	8.27	8.23	8.15	8.07	8.00	7.72	7.66	7.61

От таблицата се вижда, че числото на въздействие отначало расте. Това съответства на развитието на процеса на разрушение на външната част на целика. На десетия ден числото на въздействие започва да намалява, което съответства на това, че процесът на разрушение е достигнал оптималния момент на развитие.

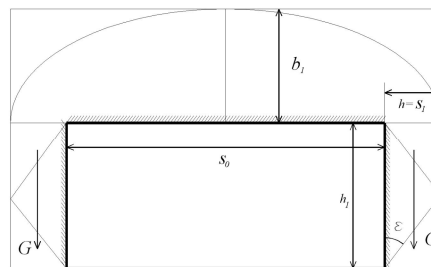
Определянето по този начин на променящите се във времето еластични константи е равносилно на определянето на функцията на пълзене  $\psi(t)$  въз основа

на останалите данни – премесвания, натиск и други.

$$\text{Използваме формулата } \psi(t) = \frac{|u|E}{hP_z(t)} - 2v.$$

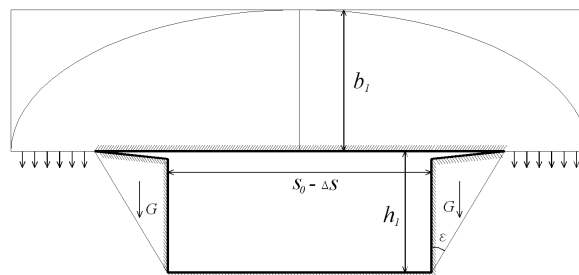
#### Характеристична диаграма

Приемаме, че следващото състояние, в което се намират скалите около минната изработка, се проявява от втория ден от прокарването на изработката (фиг. 4.).



Фиг. 4. Схема на натоварването на стената на изработката

Ако целикът не е заздравен, деформирането на стените води до състояние, илюстрирано на фиг.5, при което горницето на външната част  $S^1$  на целика се отделя от тавана и върху тази част действа единствено собственото тегло. Приемаме, че това състояние е настъпило на петдесетия ден.



Фиг. 5. Схема на състоянието, при което стените са отделени от тавана и върху тях действа само собственото тегло  $G$

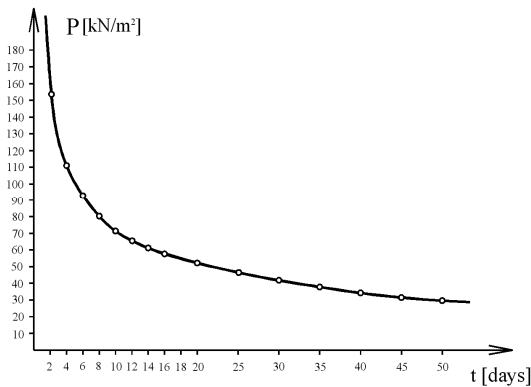
Като използваме получените в Димитров (2012) свойства за натиска върху крепежа приемаме, че той се изразява като функция на времето  $P_z = P_z(t)$ , където  $t$  [дни], която е с непрекъснати производни и е възможно най-проста за описание функция. Тази функция има свойствата:

$$P_z(0) = \gamma H = 0.022 \cdot 150 = 3.3 \text{ MN} / \text{m}^2,$$

$$P_z(2) = 0.154 \text{ MN} / \text{m}^2,$$

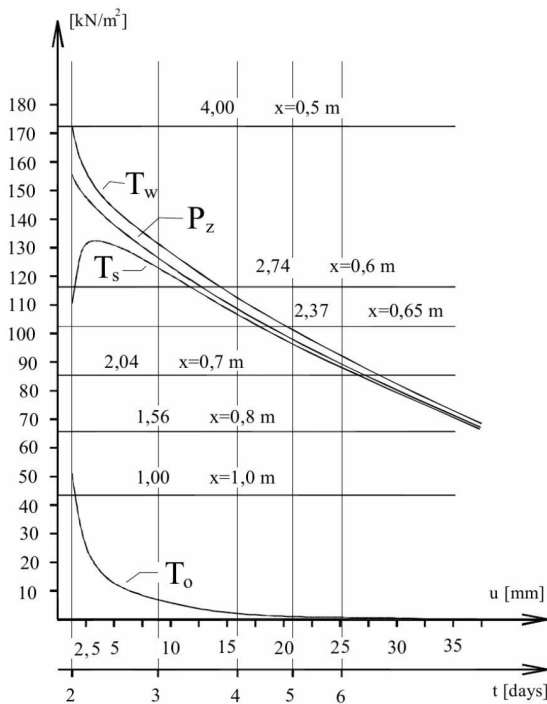
$$P_z(50) = 0.033 \text{ MN} / \text{m}^2,$$

Вида на функцията  $P_z(t) = \frac{a}{(t + \epsilon)^\alpha}$  е определен в Димитров (2012).



Фиг. 6. Характеристична диаграма на натиска върху стените на изработката

Като се удовлетворят горните условия за функцията се получава  $a = 0.215 MN \cdot (days)^\alpha / m^2$ ,  $\varepsilon = 3.3 \cdot 10^{-3} (days)$  и  $\alpha = 0.48$ . На фиг.6 е изброена характеристичната диаграма на натиска върху крепежа.



Фиг. 7. Характеристична диаграма на стената на целика и анкерния крепеж

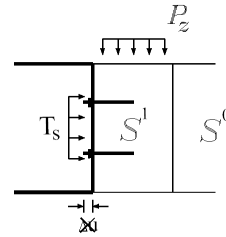
На фиг.7 са изобразени:

1. Диаграма на натиска  $P_z$ , действащ върху външната част  $S^1$  на целика;
2. Диаграма на анкерните усилия  $T_s$ , спиращи хоризонталните премествания в областта  $S^1$ ;
3. Диаграма на анкерните усилия  $T_0$  в тавана, спиращи вертикалните премествания при приложени анкерни усилия  $T_s$ ;

4. Диаграма на анкерните усилия  $T_w$  на анкерите в стената, спиращи вертикалните премествания.

5. Диаграма на анкерната мрежа от тип ТФА при различна гъстота на разполагане на анкерите.

В израза за хоризонталните премествания  $s_{1t} = \frac{(1 - \nu_t - 2\nu_t^2)T - \nu_t P_1}{E_t}$  е коефициент на пропорционалност. Целта на анкерирането е да се получи  $s_{1t} = 0$  в подходящ момент  $t$  или да се ограничи  $|s_{1t}|$ .



Фиг. 8. Схема на спиране на хоризонталните премествания

Ако изберем  $s_{1t} = 0$ , то  $T_s = \lambda P_z = \frac{\nu_t}{1 - \nu_t} P_z$  е хоризонтално анкерно усилие, което спира хоризонталните премествания (Фиг. 8.).

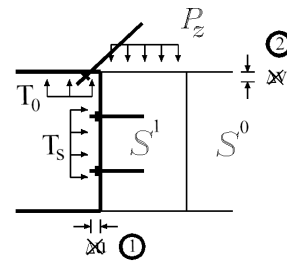
Отношението  $\frac{P_1}{E_t}$  - е коефициент на пропорционалност на вертикалните премествания.

Тук

$$p_1 = P_z - 2\nu_t T = \frac{1 - \nu_t - 2\nu_t^2}{1 - \nu_t} P_z = \frac{1 - \nu_t - 2\nu_t^2}{\nu_t} T_s = T_0$$

представлява остатъчно вертикално напрежение, което може да приемем като необходимото анкерно усилие, което трябва да се приложи в тавана, в близост до стената, за спиране на вертикалните премествания, когато хоризонталните премествания се спират с анкерно усилие

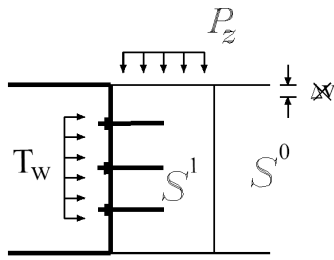
$T_s$  (при условие  $T_s = \frac{\nu_t}{1 - \nu_t} P_z$ ) (Фиг. 9.).



Фиг. 9: Схема на спиране на вертикалните премествания при спряни хоризонтални

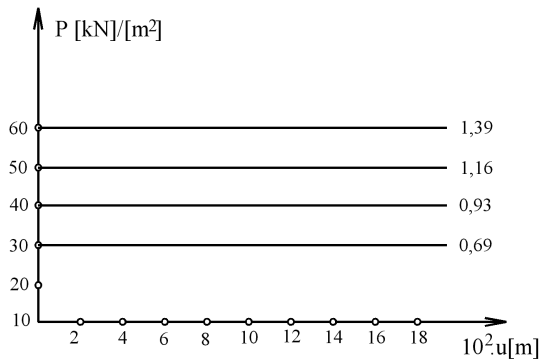
Ако искаме да приложим анкериране на стените, така че да се спрат вертикалните премествания, то  $p_1 = 0$  и

$$T_w = \frac{1}{2\nu_t} P_z \text{ (Фиг. 10.)}$$



Фиг. 10. Схема на спиране на вертикалните премествания

За анкерите от даден вид построяваме *характеристична диаграма*. Като имаме в предвид специфичните свойства на анкера от тип ТФА, решението на задачата за плътността на анкерната мрежа се постига, като се съпоставят характеристичната диаграма на стените на целиците със характеристичната диаграма на анкера. На фиг. 11 е построена характеристичната диаграма на анкера от тип ТФА с дължина  $l = 1.2\text{m}$ .



Фиг. 11. Характеристична диаграма на анкер от тип ТФА

### Оценка на параметрите

От характеристичната диаграма е ясно, че за реализиране на анкерен крепеж на стената, определящ е параметърът анкерни усилия, спиращи хоризонталните премествания  $T_S = \frac{v_t}{1 - v_t} P_z$ . От диаграмата можем

непосредствено да определим разстоянието  $x$  между анкерните редове. Ще оценим точността на определяне на разстоянието  $x$ , като оценим точността на усилията  $T_S$ .

Тук  $P_z$  е еднозначно определен параметър за минна изработка с дадени геометрични размери. Имаме  $T_S = \frac{|u|EP_z(t)}{|u|E - 2(1 - 2\nu)hP_z(t)}$ . Ако анкерването се

осъществи при  $t = 5\text{days}$ , то  $P_z(5) = 116\text{kN/m}^2$  и преместването е  $|u| = 12\text{mm}$ .

Ще определим полулогаритмичния градиент. Получаваме:

$$\frac{\partial T_S}{\partial \ln E} = \frac{-2(1 - 2\nu)|u|EP_z^2(t)}{[|u|E - 2(1 - 2\nu)P_z(t)]^2}$$

$$\frac{\partial T_S}{\partial \ln \nu} = \frac{-4\nu|u|EP_z^2(t)}{[|u|E - 2(1 - 2\nu)P_z(t)]^2}$$

$$\|grad_{\ln T_S}\| = \frac{|u|EP_z^2(t) \cdot 2}{[|u|E - 2(1 - 2\nu)P_z(t)]^2} \sqrt{(1 - 2\nu)^2 + (2\nu)^2} = 0.80$$

Случайните величини на модела са параметрите коефициент на Поасон  $\nu$  и модул на еластичност  $E$ , са параметри от вид II. Средно квадратичната допустима относителна грешка на аргументите е

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{0.2^2 + 0.2^2}{2}} = 0.2$$

Получаваме

$$\delta_{npe}(T_S) = \|grad_{\ln T_S}\| \cdot \varepsilon = 0.16\text{kN/m}^2$$

От характеристичната диаграма можем да определим наклона на графиката на  $T_S$  -  $k = \frac{42}{15} = 2.8$ .

Следователно можем да направим извода, че  $\delta_{npe} = \delta_{npe}(x) = \delta_{npe}(T_S) \cdot k = 0.16 \cdot 2.8 = 0.45\text{m}$  е грешката при презапасяване за разстоянието  $x$  между анкерните редове.

От връзката  $k(1 - p)^2 = \frac{\delta}{\delta_{npe}}$  и Таблица 1 можем да

направим изводите. Полученият резултат показва, че с доверителна вероятност 95% се определя разстоянието между анкерните редове с грешка не по-голяма от  $15\text{cm}$ . Тази грешка е абсолютно допустима и не оказва влияние върху устойчивостта на крепежната конструкция. За сравнение е разгледана и възможността резултатът да се получи с грешка не по-голяма от  $7\text{cm}$  - доверителната вероятност е 85%. Резултатите са дадени в Табл. 4.

Таблица 4.

Две групи експериментални данни

$\delta$ [m]	$T_S$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\nu$	$\frac{E}{GN/m}$	$\ grad_{\ln f}\ $ [m]	$\varepsilon$	$\delta_{npe}$ [m]	$k(1 - p)^2$	$k_{II}$	$(1 - p)^2$
0.15	116	0.25	2	0.16	0.2	0.45	0.33	3.0	95
0.07	116	0.25	2	0.16	0.2	0.45	0.15	6.6	85

### Изводи

В сравнение с използвания коефициент на сигурност, предлаганият метод за оценка на зависимостите работи с много повече информация: отчита необходимата точност на резултата и градиента на функционалната зависимост; изразява презапасяването с вероятностен параметър – достоверност и дава възможност за определяне на моделните елементи на параметрите.

## Литература

Амусин Б., А. М. Линьков. 1973. Об использовании переменных моделей для решения одного класса задач линейного наследственной ползучести, Сб. ВНИМИ, №88.

Баклашов И.В. 1988. Деформирование и разрушение породных массивов, Москва, Недра.

Димитров Ю 2003. Оптимизиране на информативността на данните и оценка на числените модели в геомеханиката, Сб.доклади "Съвременни геомех. методи в минната промишленост и подземното гражданско и тунелно строителство, Несебър.

Димитров Ю. 2011. Приложение на оценка на зависимостите при оразмеряване на анкерен крепеж, Годишник МГУ.

Димитров Ю. 2012. Теоретични основи на стабилизирането на скалния масив с тръбно – фрикционния анкер, Дисертация, Архив МГУ.

Ержанов Ж. С. 1964. Теория ползучести горных пород и ее приложения, Наука, Алма-ата.

Николаев Н., В. Парушев 1985. Анкери и анкерен крепеж за подземни съоръжения, Техника, София.