ГОДИШНИК НА МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. ИВАН РИЛСКИ", Том 54, Св. II, Добив и преработка на минерални суровини, 2011
ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY "ST. IVAN RILSKI", Vol. 54, Part II, Mining and Mineral processing, 2011

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ОЦЕНКА НА ЗАВИСИМОСТИТЕ ПРИ ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА АНКЕРЕН КРЕПЕЖ

Юлиян Димитров

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: 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 води до обособяване на моделни елементи при числения модел.
С настоящия материал се прилага метод за оценка на зависимостите Method for Valuation of Dependence (MVD) при решаване на задачата за оразмеряване на анкерен крепеж и определяне на коефициента на презапасяване

APPLICATION OF VALUATION OF DEPENDENCE AT ANCHOR BOLTS DIMENSIONING

Julian Dimitrov
University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: juldim@abv.bg

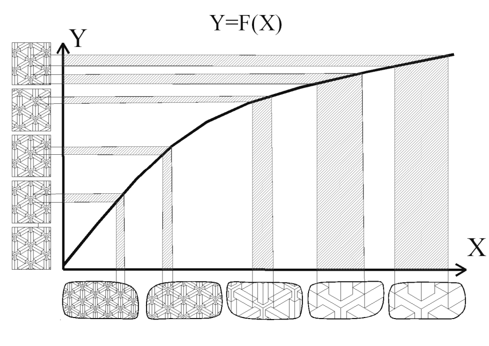
ABSTRACT. The models of the mining technology are based on mechanics of continuous environments and on special hypotheses. Because of the technological and other reasons, the parameters of these models have big errors.
At numerical realization the models of mining technology are presenting by limited number of discrete (modeling) 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 and defining the coefficient of hoarding.

Увод

При всяко измерване или използване на параметър в практиката се допуска неизбежно случайна грешка. Случайната грешка се получава от неточност на уредите за измерване и неточност на приложения модел. Най-голямата случайна грешка, която систематично се постига при много опити, трябва да е по-малка от допустимата грешка. Допустима абсолютна или относителна грешка на дадена величина ν имаме, когато: 1. ν е физична величина на модел, който има определена точност на приложение; 2. Когато за тази величина в практиката (производството и други приложни дейности) има приети стандартни стойности.

Общото между приложните модели на минните технологии е разделянето на непрекъсната среда, която най-често е скалния масив, на дискретни - *моделни елементи*. Поради големите допустими грешки на данните, моделните елементи могат да бъдат с относително големи размери. За определяне на подходящи размери на моделните елементи все още се използват неточни методи.

Прилагането на достатъчно точен метод за оценка на начина на преобразуване на данните дава възможност да се решава обратната задача. Като се знае необходимата точност на резултата е възможно, посредством критерия за възстановимост, да се определи оптималния размер на моделните елементи, така както е илюстрирано на фиг. 1. При една и съща точност на данните на изхода се получават различни размери на входа в зависимост от наклона на графиката на зависимостта.



Фиг. 1. **Определяне на размерите на моделните елементи в зависимост от наклона на графиката**

Представяне с моделни числа и възстановимост

Нека в интервала $U \subset R$ е дефинирана една физична величина v. Ще казваме, че тази величина е с *допустима абсолютна грешка* δ, ако за всеки две стойности $v_1, v_0 \in U$ на величината е изпълнено $\left|v_1 - v_0\right| \le \delta$ точно когато са предметно неразличими – т.е. от технологични или други приложни съображения двете стойности се възприемат като неразличими.

Нека в едномерния случай околността $U \subset R$ не съдържа числото нула. Ще казваме, че v е с *допустима относителна грешка* ε, ако за всеки две стойности $v_1, v_0 \in U$ на величината v е изпълнено $\left|\frac{v_1 - v_0}{v_0}\right| \le \varepsilon$,

точно когато v_1 и v_0 са предметно неразличими. Когато параметърът v е представен дискретно с моделни числа с разстояние между тях Δv, то $\left|v_1 - v_0\right| \le \frac{\Delta v}{2}$ и

приемаме, че $\delta = \frac{\Delta v}{2}$ е допустима абсолютна грешка за

v. Ако $m^1, m^2, \cdots, m^k$ са моделните числа, то допустимата относителна грешка при представяне с моделно число m^j е $\varepsilon = \frac{\Delta v}{2m^j}$.

При n аргумента на F имаме околност $U \subset X \subset R^n$. Нека U не съдържа точки от координатните равнини. Означаваме с $\varepsilon_i = \frac{\Delta x_i}{2m_i^j}$

допустимата относителна грешка за параметъра x_i. В този случай имаме *допустима относителна грешка* $\varepsilon = \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \cdots + \varepsilon_n^2}{n}}$. *Ако* за две стойности на аргументите

$A = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, $A_0 = (x_1^0, x_2^0, \ldots, x_n^0) \in U$, за поне една координата $i = i_0$ е изпълнено $\left|\frac{x_{i_0} - x_{i_0}^0}{x_{i_0}^0}\right| > \varepsilon_i$ то

казваме, че аргументите A и A_0 са предметно различими.

Ще казваме, че дискретното представяне $\overline{F}$ на $F: X \to Y$ *може да се възстанови*, при даденото ε, ако за всеки две предметно различими $B_0, B \in Y$, $\left\|B_0 B\right\| > \delta$, съществуват съответни предметно различими $A_0, A \in X$ и $S \in \overline{A_0 A}$, такива че $\left\|A_0 A\right\|_S > \varepsilon$ и е изпълнено $F(A_0) = B_0$ и $F(A) = B$.

Условие за възстановимост: Нека $\varepsilon > 0$ и $\delta \ge 0$ са съответно допустимите относителна грешка за X и абсолютна грешка за Y. Ако е изпълнено $\frac{\left\|BB_0\right\|}{\left\|AA_0\right\|_S} \le \frac{\delta}{\varepsilon}$, то

дискретното представяне $\overline{F}$ на F може да се възстанови (Димитров, 2006).

Доказано е в Димитров (2003), че ако F състои от една функция f, то можем да заместим отношението $\left\|BB_0\right\| / \left\|AA_0\right\|$ в условието за възстановимост с дължината на логаритмичния градиент. *Условието за възстановимост* се записва във вида $\left\|\mathrm{grad}_{ln} f(A_0)\right\| \le \frac{\delta}{\varepsilon}$.

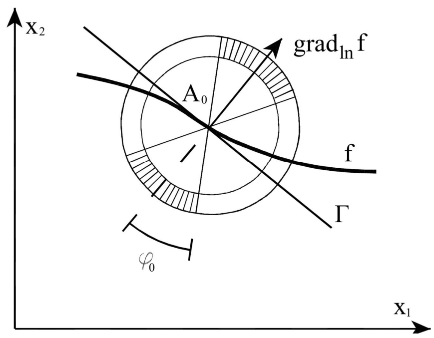
Величината $\delta_{\text{пре}} = \left\|grad_{\ln} f(A_0)\right\| \cdot \varepsilon$ ще наричаме грешка при презапасяване.

Кълбо на грешките и критична област

Недостатък на така въведената оценка чрез дължината на градиента $\left\|grad_{ln}(f)\right\|$ е, че статистически вероятността за нейното достигане е много малка и тази оценка е завишена. В този вид оценката чрез градиента може да се използва предимно за качествени изводи. Не се постига оптимално решение на задачата, понеже не се отчита случайния характер на данните. С тази оценка в Димитров (2003) са направени качествени изводи, които са приложени в Ангелова (2005).

Можем да отслабим условието за възстановимост изрзено с градиента, като приемем условието за възстановимост да е изпълнено навсякъде освен в достатъчно малка *критична област,* както е предложено в Димитров (2007).

На Фиг.2 е илюстрирано пространството на аргументите $X \subset R^n$, градиента $grad_{ln} f$ в точка A_0, графиката на функцията $F: f(A) = B$ и графиката на повърхнината на градиента, зададена с уравнението $\Gamma: \sum_{i=1}^{m} \frac{\partial f}{\partial x_i}(x_1, \cdots, x_m) \cdot x_i = 0$. Изобразено е кълбо с радиус ε и сегмент от кълбото с ос успоредна на $grad_{ln}\ f$ и ъгъл между оста и образувателната φ_0.



Фиг. 2. **Приведено кълбо на грешките и критична област**

Вероятността точка от кълбото да попадне в сегмента е равна на отношението на обема на сегмента към обема на кълбото $p = \frac{V(\varphi_0)}{V} = \frac{\int_0^{\varphi_0} \sin^{n-2}\varphi \, d\varphi}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{n-2}\varphi \, d\varphi}$, където n е броя на аргументите на f, за които модела се прилага с неточни данни.

Окончателно условието за възстановимост е $k \cdot (1-p)^2 \cdot \|grad_{ln} f\| \cdot \leq \frac{\delta}{\varepsilon}$, където $k = cos\,\varphi_0$, $\varphi_0 \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right]$. Числото $1-\bar{p} = 1-p^3$ е доверителната вероятност F да се възстанови и $k \cdot (1-p)^2 \leq \frac{\delta}{\delta_{\text{пре}}}$.

Нека имаме функцията f с два неточни аргумента, ъгъла 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).

Таблица 1.

Стойности на коефициента $k(1-p)^2$ *и достоверността* $1-\bar{p}$

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

Коефициент на сигурност

Коефициентът на сигурност η се прилага върху якостните характеристики на скалите – тангес на ъгъла на вътрешно триене $v = tg\varphi$ и кохезия по слабия контакт c (Христов, 2000). Нека i е якостен параметър и V_S е оценка на съответния якостен показател (strength index). Оценката се задава с неравенство $i \leq V_S$. При инженерните изчисления вместо стойността $i = V_S$ се приема стойността $i = \eta V_S$ - в изчислителнаата схема се прилага „най-неблагоприятната ситуация". В този смисъл вероятността да имаме стойността $i > \eta V_S$ е пренебрежимо малко. При така направената постановка на оценка на якостен показател i е случайна величина. Теоретично при $i = V_S$ настъпва събитие – скалата преминава в гранично състояние. Има определена вероятност събитието да настъпи и при $i > V_S$, интервалът от тези възможни стойности е $\left[V_{S\,S}, \eta V_S\right]$, където $\eta > 1$ е коефициентът на презапасяване или още коефициент на сигурност. В Христов (2000), Попов и Окатов (1986) коефициентът на сигурност е определен с $\eta = 1 + \frac{m}{y}$, където y е функционалната стойност за f и m е средно квадратична грешка за y.

Можем да приемем, че зададените стойности на i са моделни числа и съответните изчислени характеристики са предметно неразличими от моделните си числа. В противен случай, прилагането на коефициента на сигурност с цел представяне на по-неблагоприятни условия на процеса, води до излишно презапасяване.

За величина, i зададена с коефициент на сигурност η, можем да смятаме, че i и $\frac{i}{\eta}$ са две съседни моделни числа - абсолютната и относителна грешка: $\delta_{абс} = \frac{1}{2}\left(i - \frac{i}{\eta}\right) = \frac{i}{2}\frac{\eta-1}{\eta}$ и $\varepsilon_{отн} = \frac{\frac{1}{2}\left(i - \frac{i}{\eta}\right)}{i} = \frac{\eta-1}{2\eta}$.

Точността на определяне на якостните характеристики на скалите зависи от различни фактори, влиещи върху условията за измерване. Приема се, че средната относителна допустима грешка е 20%. Тогава имаме условието $\frac{\eta-1}{2\eta} \leq 0.2$ и за коефициента на сигурност, който се прилага върху якостните характеристики, се получава $\eta \leq 1.66$.

Реализация на метода

Разглеждаме задачата за оразмеряване на анкерен крепеж с черупкови анкери за хоризонтални минни изработки с– «ВМГИ - 36». Разгледаната изчислителна схема е предвидена за условията на рудник «Еньовче» (Николаев, 1970). Минно-технологичните условия се характеризират със:

- Скалите са силно нарушени в зоната на рудното тяло на разстояние до 10-15 метра от него. Извън тази зона скалите са значително по-устойчиви. В зоната се наблюдава интензивен скален натиск;
- Изработките пресичат разседи в зоната на повишен скален натиск;
- Изработките пресичат системи от напречни и под определен остър ъгъл пукнатини – участъци с допълнително повишен скален натиск;
- Разрушените елементи от крепежа и характера на разрушенията показват, че главната посока на движение на скалите сключва остър ъгъл с хоризонталната равнина – съответства на ориентирането на главните пукнатини на

скалите. Следователно преобладава страничния скален натиск.

С този вид анкери са правени експериментални изследвания за скали с якост на натиск >1000.

Установено е, че носимоспособността на заклинващото устройство превишава носимоспособността на анкерния прът. Носимоспособността на анкерния прът е носимоспособността на самия анкер.

Характеристики на анкерния прът:

- Стоманата с якост на опън $G_p = 400\, MN/m^2$;
- Диаметър на анкерния прът $18mm$.
- Площ на анкерния прът $Fa = 2.54\, cm^2$
- Допустимо натоварване на пръта $P_{доп} = G_p \cdot F_a = = 2540kg$
- Относителна грешка на при определяне на парачетъра $P_{доп}$ е $\delta - 20\%$.

Скалата при определените минно технологични условия е от първи реологичен тип. Натоварването P_∞ при $t = \infty$ на анкерния болт се определя от формулата

$P_\infty = \dfrac{2\pi(1+\nu)lR_i mP}{R_0 R_l b E_л}$, където

ν - коефициент на Поасон, $\nu = 0.2$;

l - дължина на анкерния болт, $l = 1.5m$;

R_i - радиус на анкерния контур, $R_i = 1.6cm$;

m - разстояние между анкерните редове;

$P = \gamma H$ - хидростатичен натиск, $H = 300m$, $\gamma = 25kN/m^3$;

R_0 - приведен радиус на изработката, $R_0 = 1.5m$;

R_l - радиус на анкерованата зона, $R_l = 3m$;

b - коефициент – отношение на преместването на главата на анкера към силата на изтегляне, $b = \dfrac{\Delta u}{p} = 2.10^{-7} m/kN$;

$E_л$ - лабораторен модул на еластичност на скалата, $E_л = 7 \cdot 10^7 kN/m^2$.

При оразмеряването трябва да бъде изпълнено неравенството $P_{доп} \geq P_\infty$.

Разстоянието между анкерните редове по оста на изработката се получава чрез формулата $m = \dfrac{P_{доп} R_0 R_l b E_л}{2\pi(1+\nu)lR_i P}$.

Ще оценим точността на изчисленията при определяне на разстоянието m между анкерните редове. За целта ще преобразуваме формулата в следния вид $m = \dfrac{R_0 R_l b}{\pi l R_i} P_{доп} \cdot \dfrac{G_л}{P}$, където

$G_л = \dfrac{E_л}{2(1+\nu)} = 2.92 \cdot 10^7 kN/m^2$ е модул на срез.

Във формулата разглеждаме като зададени с определена точност само $P_{доп} = 25.4kN$ и $\dfrac{G_л}{P} = 3.9 \cdot 10^3$. И двете величини са с относителна грешка 20%. Пресмятаме $\dfrac{R_0 R_l b}{\pi l R_i} = \dfrac{9 \cdot 10^{-7}}{7.54 \cdot 10^{-2}} = \cdot$ $= 1.19 \cdot 10^{-5} m/kN$. По горната формула получаваме $m = 1.19 \cdot 10^{-5} \cdot 25.4 \cdot 3.9 \cdot 10^3 = 1.18m$. Допустимата грешка на аргументите е $\varepsilon = \sqrt{\dfrac{1/5 + 1/5}{2}} = 0.2$. За градиента: $\dfrac{\partial m}{\partial \ln P_{доп}} = \dfrac{R_0 R_l b}{\pi l R_i} P_{доп} \cdot \dfrac{G_л}{P}$ и $\dfrac{\partial m}{\partial \ln \dfrac{G_л}{P}} = \dfrac{R_0 R_l b}{\pi l R_i} P_{доп} \cdot \dfrac{G_л}{P}$

$$\Rightarrow \|grad_{\ln} m\| = \frac{R_0 R_l b}{\pi l R_i} P_{доп} \cdot \frac{G_л}{P} \sqrt{2} = 1.67m \cdot$$

Определяме $\delta_{пре} = \|grad_{\ln} m\| \varepsilon = 0.33m$,

$k(1-p)^2 = \dfrac{\delta}{\delta_{пре}}$. Резултатите са дадени в Табл. 2.

Полученият резултат показва, че с доверителна вероятност 94% се определя разстоянието между анкерните редове с грешка не по-голяма от $10cm$. 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 $5cm$ - доверителната вероятност е 84%.

Таблица 2.

Две групи експериментални данни случай А):

$\delta[m]$	$P_{доп}$ kN/m^2	$\dfrac{G_Л}{P}$	$m\,[m]$	$\|grad_{\ln} f\|$ $[m]$	ε	$\delta_{пре}$ $[m]$	$k(1-p)^2$	$(1-\bar{p})\%$
0.10	25.4	3.910^3	1.18	1.67	0.2	0.33	0.30	94
0.05	25.4	3.910^3	1.18	1.67	0.2	0.33	0.15	84

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

Ангелова Р. 2005. *Изследване на параметрите на камерно-целикова система на разработване (за условията на рудник “Кошава”),* Дис.д-р, Архив МГУ.

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. 2006. Приложение на възможността за възстановяване на непрекъснато графично изображение при численото моделиране на минните работи, *Год. МГУ*, Том 49, св. II.

Димитров Ю. 2007. Оценка на зависимостите между параметри в открити рудници, *Сб. Доклади "IX-та национална конференция по открит и подводен добив на полезни изкопаеми – висока ефективност, екологично производство"*, Варна.

Николаев Н. 1970. Закрепване на хоризонтални минни изработки прокарани в неустойчиви скали с анкерен крепеж на р-к „Еньовче" и р-к „Димов дол" – ДМП „Горупсо", *Арх. МГУ.*

Попов И. И., Р. П. Окатов. 1986. *Борьба с оползнями на карьерах*, Москва., "Недра".

Христов С. 2000. *Устойчивост и одводняване на откосите в откритите рудници и кариери*, София.

Препоръчана за публикуване от Катедра "Подземно разработване на полезни изкопаеми", МТФ