

Алгоритъм за определяне на потенциалната повърхнина на свличане в многослойна среда чрез динамично програмиране

Георги Трапов, Румяна Кашикова, Паулин Златанов, Пешка Стоева

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

РЕЗЮМЕ. Деформационните процеси в бордовете на откритите рудници, изградени в многослойна среда имат различно поведение във всеки пласт. При тези условия може да се приложи оптимизационният принцип на Ферма. Потенциалната плъзгателната повърхнина има различни направления на границите на две среди. За решаване на конкретни проблеми се прилага метода на динамичното програмиране. Разработен е алгоритъм за установяване на потенциалната плъзгателна повърхнина в технологичните стъпала. Създадените компютърни програми могат да бъдат приложени за определяне на формата на потенциалната повърхнина. Методът е приложен за откритите рудници на Марица-изток.

ALGORITHM FOR DETERMINING THE POTENTIAL SURFACE OF SLIDING IN A BEDDED MEDIUM BY DYNAMIC PROGRAMMING

ABSTRACT. The deformation process in the borders of open-pits constructed in a multimedia have different behaviors in the different layers. Under these conditions the extremity principal for optimal phenomena of Ferma can be applied. By analogy of this principal the potential surface of landslide has different directions between the limits of two media. For resolution of the concrete problems the method of Dynamic Programming is applied.

An algorithm is developed to obtain the potential surface of landslide in the technological steps. Computer programs have been established for the form and total resistance forces in the potential surface. The method is applicable for the open-pits in Maritza East.

Деформационните процеси в бордове и стъпала в многослойна среда зависят от свойствата на различните литоложки хоризонти. При оценка на устойчивостта им е много важно да се знае потенциалната повърхнина на деформиране и мобилизацията на всяка част от повърхнината в отделните пластове.

Определянето на най-опасната повърхнина на плъзгане може да стане с методите на математичното моделиране, които позволяват търсената повърхнина да е най-близка до реалната. Един от методите, който е използван за тази цел е динамичното програмиране [Златанов, 1992; Стоева и др., 2003] прилаган за двуслоен откос.

В Източномаришкия басейн технологичните стъпала се изграждат в трислоен или повечеслоен откос, тъй като плиоценския профил е разнороден във вертикално отношение.

Наблюдава се редуване от глини и пясъци, които са с малка дебелина и диктуват многослойността на стъпалата. За да се реши поставената задача е необходимо да се разработи алгоритъм за определяне на потенциалната повърхнина при три и повече слоеве.

В координатната система xOy се разглежда открито стъпало с широчина на призмата на възможно обрушване $AB=a$ (фиг. 1).

Стъпалото е изградено от три слоя с дебелина, съответно: m_1 (първи слой); m_2 (втори слой); m_3 (трети слой). Откосът на стъпалото е ограничен от линията BC . Вероятната повърхнина на плъзгане може да се опише с линията $AFGC$, която не отговаря на действителния характер на деформационния процес, тъй като е права. За да се опише реалния процес на деформиране се използва начупената линия $ALMC$, която в съответните слоеве се представя от отсечките AL , LM и MC .

Точката A много често отговаря на налична пукнатина, от която възниква деформационния процес. Съществува възможност в зоната AOC да се разполагат голям брой потенциални плъзгателни повърхнини. Определянето на най-опасната от тях става по критерия за минимални задържащи сили:

$$\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \cos \beta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^n c_i l_i \rightarrow \min \quad (1)$$

Първото събираемо в използвания алгоритъм се пренебрегва поради малките стойности на $\operatorname{tg} \varphi_i$. Ако се приеме, че дебелината на трите слоя е постоянна, т.е. границите им са хоризонтални, то проекциите на трите участъка от плъзгателната повърхнина AL , LM и MC са съответно x_1 , x_2 и x_3 . Те еднозначно определят дължините на тези участъци:

$$l_{AL} = \sqrt{m_1^2 + x_1^2}, \quad (2)$$

$$l_{LM} = \sqrt{m_2^2 + x_2^2}, \quad (3)$$

$$l_{MC} = \sqrt{m_3^2 + x_3^2}, \quad (4)$$

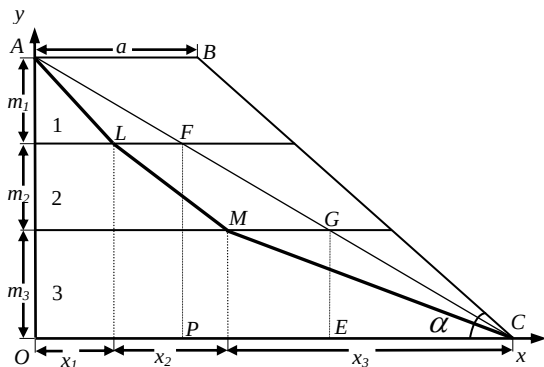
$$l_{OC} = x_1 + x_2 + x_3. \quad (5)$$

Приемаме x_1 , x_2 и x_3 за независими променливи, които определят линията на плъзгане ($ALMC$). Целевата функция, чрез която се изразяват силите на сцепление е:

$$Z = f(x_1, x_2, x_3) = c_1 \cdot l_{AL} + c_2 \cdot l_{LM} + c_3 \cdot l_{MC} =$$

$$c_1 \sqrt{m_1^2 + x_1^2} + c_2 \sqrt{m_2^2 + x_2^2} + c_3 \sqrt{m_3^2 + x_3^2} \rightarrow \min \quad (6)$$

Границите на изменение на независимите променливи са:



Фиг. 1. Схема на открито стъпало и вероятната повърхнина на плъзгане

$$0 \leq x_1 \leq l_{OP}, \quad 0 \leq x_2 \leq l_{OE}, \quad 0 \leq x_3 \leq l_{OC}. \quad (7)$$

Дължините l_{OP} и l_{OE} се определят по геометрични зависимости.

Разглежда се пример за трислойно стъпало с дебелини на слоевете: $m_1=6m$, $m_2=4m$, $m_3=6m$. Физичните и якостни свойства за всеки слой са:

$$\gamma_1 = 1,9 t/m^3, \quad \varphi_1 = 7^\circ, \quad c_1 = 8,5 t/m^2;$$

$$\gamma_2 = 1,82 t/m^3, \quad \varphi_2 = 5^\circ, \quad c_2 = 7 t/m^2;$$

$$\gamma_3 = 1,65 t/m^3, \quad \varphi_3 = 3^\circ, \quad c_3 = 5 t/m^2.$$

Определянето на оптималната линия на плъзгане става на три етапа, като се започне от последния участък. Съгласно метода на динамичното оптимизиране, това е единственият етап, който може да бъде определен, без да се отчита влиянието му върху бъдещите етапи.

Участък AL (трети етап). Изменя се независимата променлива x_1 съгласно формула (7) – за случая стъпката на изменение е $4m$. Стойностите на целевата функция

$$Z_1(x_1) = c_1 \sqrt{m_1^2 + x_1^2} \rightarrow \min$$

са дадени в таблица 1.

Таблица 1.

x_1, m	0	4*	8
$Z_1(x_1), t$	51,00*	61,29	85,00
x_1, m	12	16	16,20
$Z_1(x_1), t$	114,04	145,25	146,85

Таблица 2.

x_1+x_2, m	x_1, m	x_2, m	$Z_2(x_1, x_2), t$
0,00	0,00	0,00	79,00
4,00	0,00	4,00	90,60
4,00	4,00	0,00	89,29
8,00	0,00	8,00	113,61
8,00	4,00*	4,00*	100,89*
8,00	8,00	0,00	113,00
12,00	0,00	12,00	139,54
12,00	4,00	8,00	123,90
12,00	8,00	4,00	124,60
12,00	12,00	0,00	142,04
16,00	0,00	16,00	166,45
16,00	4,00	12,00	149,84
16,00	8,00	8,00	147,61
16,00	12,00	4,00	153,64
16,00	16,00	0,00	173,25
19,00	0,00	19,00	186,93
19,00	8,00	11,00	166,95
19,00	4,00	15,00	169,98
19,00	12,00	7,00	170,49
19,00	16,00	3,00	180,26
19,00	16,20	2,80	181,03

Участък LM (втори етап). Променливата x_2 се изменя съгласно (7). Стойностите на целевата функция

$$Z_2(x_1, x_2) = Z_1(x_1) + c_2 \sqrt{m_2^2 + x_2^2} \rightarrow \min$$

са дадени в таблица 2.

Участък MC (първи етап). Променливата x_3 се изменя съгласно (7). Стойностите на целевата функция

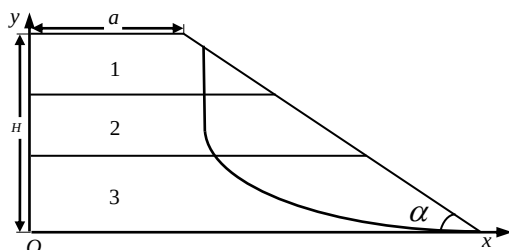
$$Z_3(x_1, x_2, x_3) = Z_2(x_1, x_2) + c_3 \cdot l_{MC} \rightarrow \min$$

са дадени в таблица 3.

Таблица 3.

x_1+x_2, m	x_3, m	$Z_2(x_1, x_2), t$	$Z_3(x_1, x_2, x_3), t$
0,00	23,20	79,00	198,83
4,00	19,20	90,60	191,19
4,00	19,20	89,29	189,89
8,00	15,20	113,61	195,33
8,00*	15,20*	100,89	182,62*
8,00	15,20	113,00	194,72
12,00	11,20	139,54	203,09
12,00	11,20	123,90	187,45
12,00	11,20	124,60	188,14
12,00	11,20	142,04	205,58
16,00	7,20	166,45	213,32
16,00	7,20	149,84	196,71
16,00	7,20	147,61	194,48
16,00	7,20	153,64	200,51
16,00	7,20	173,25	220,12
19,00	4,20	186,93	223,55
19,00	4,20	169,98	206,60
19,00	4,20	166,95	203,57
19,00	4,20	170,49	207,11
19,00	4,20	180,26	216,88
19,00	4,20	181,03	217,66

От таблица 3 се вижда, че минималното съпротивление $Z_3 = 182,62 t$ се получава при $Z_2 = 100,89 t$, $x_3 = 15,20$ и $x_1 + x_2 = 8m$. От таблица 2 се намират $x_1 = 4m$ и $x_2 = 4m$. По стойностите на x_1 , x_2 и x_3 се построява потенциалната плъзгателна повърхнина $ALMC$. За тази повърхнина коефициента на устойчивост е $F = 1,46$. Полученият резултат за коефициента на устойчивост (F) от прилагането на разработения алгоритъм е сравнен с метода на Г. Л. Фисенко [Фисенко, 1965] (фиг. 2), при условие, че са осреднени γ , φ и c за отделните слоеве. В този случай $F = 1,70$.



Фиг. 2. Схема на откоса и вероятна плъзгателна повърхнина, определена по метода на Г. Л. Фисенко

В заключение може да се каже, че класическите методи за оценка на устойчивостта на стъпала не са достатъчно достоверни. Методът на динамичното програмиране в настоящия момент е меродавен. Разработеният алгоритъм позволява итеративно да се търси повърхнина на свличане с коефициент на устойчивост около 1, което отговаря на неустойчиво стъпало.

Литература

- Златанов, П.Г. 1992. Метод за определяне на вероятната повърхнина на плъзгане в многослоен откос чрез динамично моделиране. *Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски"*, т. XXXVIII св. II, София.
- Стоева, П. Хр. И др. 2003. Рационален подход за избор на изчислителна схема при оценка на устойчивостта на откоси. *Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски"*, том 46 св. II, София.
- Фисенко, Г.Л. 1965. Устойчивост бортов карьеров и отвалов. М., "Недра".