

## РАЦИОНАЛЕН ПОДХОД ЗА ИЗБОР НА ИЗЧИСЛИТЕЛНА СХЕМА ПРИ ОЦЕНКА НА УСТОЙЧИВОСТТА НА ОТКОСИ

**Пешка Стоева**

**Румяна Кашикова**

**Георги Трапов**

**Паулин Златанов**

Минно-геоложки университет  
“Св. Иван Рилски”  
София 1700, България

Минно-геоложки университет  
“Св. Иван Рилски”  
София 1700, България

Минно-геоложки университет  
“Св. Иван Рилски”  
София 1700, България

Минно-геоложки университет  
“Св. Иван Рилски”  
София 1700, България

### РЕЗЮМЕ

Нормалната работа на изкопно-транспортната механизация в откритите рудници е свързана с осигуряването на устойчивостта на откосите на бордовете и стъпалата. В зависимост от специфичните условия на даден рудник се използват различни методи и схеми за стабилитетна оценка. Липсва унификация на изчислителните процедури, което много често изключва възможността за подбиране на меродавен модел.

Направен е сравнителен анализ при оценката на устойчивостта на откосите и респективно е определен коефициент на устойчивост за равни геотехнически и инженерно-геоложки условия. Отчетена е необходимостта от създаване на модел и метод, които могат да се прилагат в различни минни масиви без специални изисквания.

В тази връзка въз основа на метода на динамичното оптимизиране е разработен модел и съответна компютърна програма, който е проверен за условията на Източно-маришкия басейн. Получените резултати съвпадат с реалните деформационни процеси, наблюдавани в откритите стъпала, с което се доказва достоверността на разработения модел.

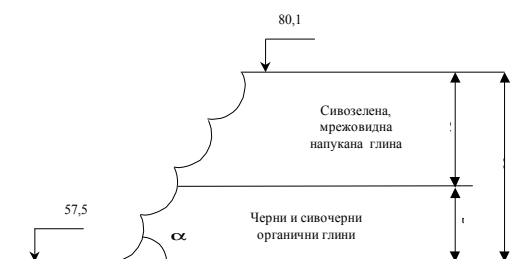
### ВЪВЕДЕНИЕ

Едно от изискванията за нормална работа на изкопно-транспортната механизация в условията на Източно-маришките открити рудници е осигуряване на устойчивостта на откритите и добивните стъпала. Появяването на деформации и свличания по откосите на откритите стъпала, изземвани с роторни багери, затруднява работата на същите, тъй като внезапното обрушване на откоса довежда до възникване на механични аварии на работния орган на багерите. При значителна височина на откритото стъпало, свлечената откривка достига до ходовата част на роторния багер и ограничава възможността му за маневриране. В случай на неблагоприятни климатични условия, разуплътнените свлечени маси поемат вода и полепват по работните органи на багера, което намалява производителността му (Стоева и др., 1994), а едновременно с тези процеси се нарушава устойчивостта на откритите и добивните стъпала.

Върху големината на коефициента на устойчивост влияят много фактори като: строежът и спецификата на литоложките разновидности; неправилно подбрани якостни и деформационни свойства на седиментите в масива; изборът на потенциална плъзгателна повърхнина; неправилно прилаганата изчислителна схема, която не отговаря на механизма на деформиране; скоростта и посоката на развитие на минните работи; развитието на деформационния процес във времето.

Първи откритен хоризонт в рудник “Трояново-север” заема важно място в структурата на открития комплекс. Той е пряко свързан с нормалната работа на участък “Добив”, тъй като е разположен непосредствено над

въглищния комплекс. Изоставането на откритите работи на този хоризонт води до “подпиране” на фронта на добивните работи, като по този начин не се осигуряват заходки по въглища с нормални технологични параметри. Характерно за този хоризонт е, че той е изграден от две литоложки разновидности: черни и сивочерни органични глини и сивозелени, мрежовидно напукана глина. Сивочерните глини се характеризират с ниска степен на структурираност, ниска чувствителност и високо водно съдържание (Трендафилов, 1991).



Фигура 1. Първи откритен хоризонт

### ОЦЕНКА НА УСТОЙЧИВОСТТА НА ПЪРВО ОТКРИВНО СТЬПАЛО

За стабилитетни изчисления се използват параметрите, дадени в таблица 1.

Таблица 1

| Литоложка разновидност | h, m | $\rho$ , g/cm <sup>3</sup> | $\varphi$ , ...° | C<br>10 <sup>5</sup> Pa | K <sub>p</sub> | C <sub>p</sub><br>10 <sup>5</sup> Pa |
|------------------------|------|----------------------------|------------------|-------------------------|----------------|--------------------------------------|
| Сивозелени глини       | 15   | 1,82                       | 5°               | 7                       | 0,9            | 6,3                                  |
| Черни глини            | 7    | 1,65                       | 3°               | 5                       | 1              | 5                                    |

Където: h е дебелината на литоложката разновидност;  $\rho$  - обемната плътност;  $\varphi$  - ъгълът на вътрешно триене; C – кохезията; K<sub>p</sub> – реологичен коефициент и C<sub>p</sub> – кохезия, коригирана с K<sub>p</sub>.

Оценката на устойчивостта на откривните стъпала до сега в Източномаришките открити рудници се извършва по метода на Г. Л. Фисенко (Георгиев, 1981).

Този метод е дефиниран и приложим за хомогенна среда. При наличие на многослоен масив, какъвто е в Източномаришкия басейн, получаваните резултати за коефициента на устойчивост (F) дори за двупластово стъпало са незадоволителни. Така например за двуслойно стъпало с якостни параметри от табл.1 се получава F=1,077.

При запазване на технологичните параметри на изчислявания откос по метода на Фисенко, потенциалната повърхнина на плъзгане се апроксимира с криви от вида:  $y=ax^2$ . За тази зависимост и стабилитетна проверка се допуска, че откосът е изграден само от черни или само от сивозелени глини. За действителната потенциална повърхнина се суперпонира частите от хлъзгателните повърхнини, характерни за дадените разновидности. В този случай се получава сложна криволинейна повърхнина. При този начин на построяване на плъзгателната повърхнина коефициентът F=1,14.

За да се избегнат графичните построения и осредняването на параметрите на литоложките разновидности се използват модели, изградени на базата на прости математични зависимости (Златанов, 1981).

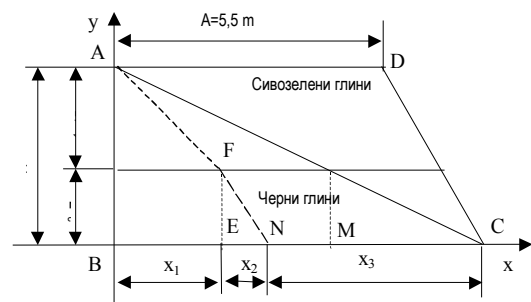
В разгледаните модели за оценка на устойчивостта на първо откривно стъпало са направени различни предположения относно вида и положението на потенциалната плъзгателна повърхнина, свойствата на масива, формата на повърхнината на откоса на стъпалото и т. н.

Получените резултати показват, че при тези модели не всички фактори се включват в целевата функция – уравнението на коефициента на устойчивост, а и влиянието им върху крайния резултат е различно. Включването на всички известни променливи прави модела тежък. Прекаленото му опростяване води до неточно отразяване на същността на явлениято. Затова от особено значение за създаване на адекватен модел е изборът на оптимален брой фактори и подходящ метод за моделиране.

Известно е от практиката, че деформирането на еднороден откос става по траектория с най-малко съпротивление на срязване. За намиране на потен-

циалната плъзгателна повърхнина, която съответства на условието, че на границата на две среди настъпва промяна в посоката ѝ, се предлага използването на метода на динамичното моделиране (Беллман, Дрейфус, 1965). Този метод, за разлика от другите методи на математично програмиране е специално приспособен към поетапно решаване на дадена конкретна задача. Основава се на принципа на Беллман за оптималност, съгласно който се обезпечава оптимално продължаване на даден процес спрямо достигнатото негово състояние. С други думи, решението на всеки следващ етап трябва да отчита резултатите от предишните етапи. При това спецификата на задачата не се променя с изменението на броя на разглежданите етапи.

Така например се разглежда откривно стъпало на първи откривен хоризонт в рудник "Трояново-север" (фиг. 2)



Фигура 2. Схема на откоса и вероятните плъзгателни повърхнини

Първият слой с дебелина  $m_1=15$  m е изграден от сини глини със стойности на физико-механичните показатели  $\rho_1=1.82$  g/cm<sup>3</sup>;  $\varphi_1=5^\circ$ ;  $c_1=6.3 \cdot 10^5$  Pa. Вторият слой е изграден от черни глини с дебелина  $m_2=7$  m и стойности на физико-механичните показатели  $\rho_2=1.65$  g/cm<sup>3</sup>;  $\varphi_2=3^\circ$ ;  $c_2=5 \cdot 10^5$  Pa. Стъпалото има височина 22 m и ъгъл на откоса  $37^\circ$ . Допуска се, че в основата на стъпалото до границата между въглищата и черните глини съществува слаба повърхнина с кохезия  $c_0=1.65 \cdot 10^5$  Pa (Тодорова, Стоева, 1973).

Задачата се решава за същите условия и допускания, които бяха направени при предишните методи.

На горната площадка на стъпалото, на разстояние от ръба на откоса  $a=5.5$  m се предполага, че се появява пукнатина (фиг. 2) – един от признаците за започване на деформационен процес. Ако не съществуваше пукнатина, задачата за намиране на повърхнината на плъзгане се решава по итеративен път, като се използва приведения по-долу алгоритъм. Широчината на призмата на възможно обрушване се приема при  $a=5.5$  m. определянето на

плъзгателната повърхнина се извършва по критерия за минимални задържащи сили, т. е.

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

Първото събираемо  $\sum_{i=1}^n P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i$  в тази сума се пренебрегва, поради многократно по-ниските си стойности (от 6 до 35 пъти) спрямо второто събираемо. Грешката, която се прави е от 2% до 12,7%, при допустима 16% (Златанов, 1992). По такъв начин, критерият се свежда до минимума по отношение на силите на сцепление, действащи по повърхнината на плъзгане. При направените предположения, призмата на възможното свличане може да се придвижи по линията AC (фиг. 2) или да се отдели от масива по линията АВ при наличието на пукнатина или на слаб контакт. Очевидно е, че оптималният вариант на деформиране на стъпалото ще бъде разположен в  $\triangle ABC$ .

Решаването на проблема е свързано с установяване на потенциалната траектория по линията AFNC. В съответствие с общите изисквания на метода на динамичното програмиране, траекторията се разделя на три участъка: AF – участък в сините глини; FN – участък в черните глини; NC – контактна хоризонтална зона.

Доколкото дебелината на двата слоя може да се приеме за постоянна величина в рамките на разглежданата призма, проекцията на трите участъка от линията AC еднозначно определят дължините на тези участъци.

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

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

$$l_{NC} = x_3 \quad (4)$$

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

където:

$m_1$  и  $m_2$  са дебелините на сините и черните глини,  $m$ ;

Избират се  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  като независими променливи, които еднозначно определят линията на плъзгане AC.

Целевата функция – минимална стойност на силите от кохезията ще изглежда така:

$$\begin{aligned} Z &= f(x_1, x_2, x_3) = c_1 l_{AF} + c_2 l_{FN} + c_3 l_{NC} = \\ &= c_1 \sqrt{m_1^2 + x_1^2} + c_2 \sqrt{m_2^2 + x_2^2} + c_3 x_3 \end{aligned} \quad (6)$$

Границите на изменение на независимите променливи са:

$$\begin{aligned} 0 &\leq x_1 \leq l_{MB}; \\ 0 &\leq x_2 \leq l_{BC}; \\ 0 &\leq x_3 \leq l_{BC}, \end{aligned}$$

където:

$$l_{MB} = \frac{m_1 l_{BC}}{m_1 + m_2} = 27 \text{ m} \quad (7)$$

Разделя се участъка BC=35m ( $BC = H \operatorname{ctg} \alpha + a = 22 \operatorname{ctg} 37^\circ + 5,5 = 35 \text{ m}$ ) на части. При това всяка от независимите променливи може да приеме стойности, кратни на 5. Търсенето на оптималната линия на плъзгане ще се извърши на три етапа, като се започне от последния й участък. Съгласно метода, това е единствения участък (етап), който може да бъде определен без да се отчита влиянието му върху бъдещите етапи.

Участък AF (трети етап). Изменя се независимата променлива  $x_1$  в границите  $0 \leq x_1 \leq 27 \text{ m}$  и се намират стойностите на целевата функция  $Z_1(x_1) = c_1 \sqrt{m_1^2 + x_1^2}$ . Резултатите са дадени в табл. 2.

Таблица 2

| $x_1$      | 0    | 5    | 10     | 15     | 20    | 25     |
|------------|------|------|--------|--------|-------|--------|
| $Z_1(x_1)$ | 94,5 | 99,6 | 113,64 | 133,64 | 157,5 | 183,67 |

Минималната стойност на функцията  $Z_1(x_1)$  се получава при  $x_1=0$ , т. е.  $Z_1(0)=94,5 \text{ t} \rightarrow \min$ .

Участък FN (втори етап). Изменя се променливата  $x_2$  в границите  $0 \leq x_2 \leq 35 \text{ m}$  и се намира сумарната задържаща сила от сцеплението по двата участъка по целевата функция

$$Z_2(x_1, x_2) = Z_1(x_1) + c_2 \sqrt{m_2^2 + x_2^2} \rightarrow \min \quad (8)$$

Изчисленията се извършват таблично и представляват основа за следващия етап.

Участък NC (първи етап). Изменя се променливата  $x_3$  в интервала  $0 \leq x_3 \leq 35 \text{ m}$  и се намира се сумарното съпротивление за този етап по израза:

$$Z_3(x_1, x_2, x_3) = Z_2(x_1, x_2) + c_3 x_3 \rightarrow \min \quad (9)$$

Резултатите от изчисленията са приведени в таблица 3.

От таблица 3 се вижда, че минималното съпротивление  $Z_3=183,37 \text{ t}$  е при  $x_3=24,69 \text{ m}$  и  $x_1+x_2=10 \text{ m}$ , т.е.  $x_1=5 \text{ m}$  и  $x_2=5 \text{ m}$ .

С така определените стойности на  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  се намират дължините на отделните участъци от плъзгателната повърхнина:

$$l_{AF} = \sqrt{m_1^2 + x_1^2} = \sqrt{15^2 + 5^2} = 15,81 \text{ m};$$

$$l_{FN} = \sqrt{m_2^2 + x_2^2} = \sqrt{7^2 + 5^2} = 8,60 \text{ m};$$

$$l_{NC} = x_3 = 24,69 \text{ m}.$$

Общата дължина на плъзгателната повърхнина, по която има минимални съпротивителни сили е :

Таблица 3

| $x_1+x_2$ | $x_2$ | $x_3$ | $Z_1(x_1)$ | $Z_2(x_1, x_2)$ | $Z_3(x_1, x_2, x_3)$ |
|-----------|-------|-------|------------|-----------------|----------------------|
| 0         | 0     | 34,69 | 94,50      | 129,50          | 186,75               |
| 5         | 0     | 29,69 | 99,61      | 134,61          | 183,61               |
| 10        | 5     | 24,69 | 99,61      | 142,62          | <b>183,37*</b>       |
| 15        | 5     | 19,69 | 113,57     | 156,59          | 189,08               |
| 20        | 10    | 14,69 | 113,57     | 174,61          | 198,85               |
| 25        | 10    | 9,69  | 133,64     | 194,68          | 210,67               |
| 30        | 15    | 4,69  | 133,64     | 216,41          | 224,15               |

$$\sum_{i=1}^3 l_i = l_{AF} + l_{FN} + l_{NC} = 15,81 + 8,60 + 24,69 = 49,11 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^2 c_i l_i = c_1 l_{AQ} + c_2 l_{QC} =$$

$$= 6,3\sqrt{15^2 + 27,4^2} + 5\sqrt{7^2 + 12,6^2} = 268,79 \text{ t}$$

Минималната съпротивителна сила е:

$$\sum_{i=1}^3 c_i l_i = c_1 l_{AF} + c_2 l_{FN} + c_3 l_{NC} =$$

$$= 6,3 \cdot 15,81 + 5,8 \cdot 6,0 + 1,65 \cdot 24,69 = 183,37 \text{ t}$$

При положение, че плъзгателната повърхнина премине през т.В, то:

$$\sum_{i=1}^3 l_i = 15 + 7 + 24,69 = 57 \text{ m}$$

Сравнителният анализ показва, че ако повърхнината мине по правата AC (метод на Цимбаревич), то:

$$\sum_{i=1}^2 l_i = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{22^2 + 35^2} = 41,34 \text{ m}$$

и

$$\sum_{i=1}^3 c_i l_i = 15,6,3 + 7,5 + 1,65 \cdot 35 = 187,25 \text{ t}$$

и

Така определената повърхнина на плъзгане ограничава призма на евентуално обрушване в първо открито стъпало.

За оценка на устойчивостта се прилага същия ред на изчисление. Резултатите са дадени в таблица 4.

Таблица 4

| N        | $\alpha_i$ | $\sin \alpha_i$ | $\cos \alpha_i$ | $\text{tg} \varphi_i$ | $P_i, \text{ t}$ | $P_i \cos \alpha_i \text{tg} \varphi_i, \text{ t}$ | $P_i \sin \alpha_i, \text{ t}$ | $c_i, \text{ t/m}^2$ | $l_i, \text{ m}$ | $c_i l_i$     |
|----------|------------|-----------------|-----------------|-----------------------|------------------|--|--------------------------------|----------------------|------------------|---------------|
| 1        | 71°36'     | 0,9489          | 0,3156          | 0,0875                | 68,25            | 1,88   | 64,76                          | 6,3                  | 15,81            | 99,6          |
| 2        | 54°30'     | 0,8141          | 0,5807          | 0,0875                | 150,36           | 4,58   | 122,40                         | 5                    | 8,60             | 43,0          |
| 3        | 0°         | 0               | 1               | 0,0875                | 338,45           | 5,92   | 0                              | 1,65                 | 24,69            | 40,73         |
| 4        | 0°         | 0               | 1               | 0,0875                | 54,86            | 0,96   | 0                              |                      |                  |               |
| <b>Σ</b> |            |                 |                 |                       |                  | <b>13,34</b>                                       | <b>187,16</b>                  |                      |                  | <b>183,33</b> |

$$F = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \text{tg} \alpha_i + \sum c_i l_i}{\sum P_i \sin \alpha_i} =$$

$$= \frac{13,34 + 183,33}{187,16} = 1,0508 \quad (10)$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използването на метода на динамично моделиране дава възможност да се отчетат различните физико-механични характеристики на многослойния масив. Полученият най-нисък коефициент на устойчивост  $F=1,05$  показва:

Полученият коефициент на устойчивост  $F=1,0508$  е най-ниският по стойност спрямо всички, определени до тук.

Въз основа на използвания алгоритъм "Откодин" е съставена компютърна програма.

- Потенциалната повърхнина на плъзгане е най-близка до реалната. По подобна схема се деформираха първото открито и възглицното стъпала в рудник "Трояново-север" през 1973 година.

- Компютърната програма "Откодин" има широки възможности за изследване на състоянието на масива при изменящи се

параметри на стъпалото, вида и броя на литоложките разновидности в геоложкия профил.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Георгиев, Г., 1981. Методическа ръководство за стабилитетни изчисления на работни, подсипвани и неподсипвани неработни бордове и откоси на насипищата на рудниците от Източномаришкия басейн. - София
- Златанов, П., 1981. Опростен метод за построяване на потенциална повърхнина на плъзгане в еднороден откос. *Въглища №7*
- Златанов, П., 1992. Метод за определяне на вероятната повърхнина на плъзгане в многослоен откос чрез

динамично моделиране. *Годишник на Минно-геоложкия университет, т XXXVIII, св. II*

- Стоева, П. и др., 1994. Осигуряване на безопасен транспорт върху деформируеми стъпала на открити рудници. *Минно дело №4-5*
- Тодорова, М., Стоева П., 1973. Физико-механични и реологични свойства на глините от Източномаришкия въглищен басейн в различно напрегнато състояние. *Трудове на "Минпроект"*.
- Трендафилов, Ст., и др., 1991. Определяне на широчината на предпазните площадки в ненарушен и насипищен масив в зависимост от динамичното натоварване за условията на откритите рудници на СО "Марица изток". Междинен отчет по договор 1260, Етап II-2.2. Архив НИС – ВМГИ

*Препоръчана за публикуване от катедра  
"Открито разработване на полезни изкопаеми  
и взривни работи", МТФ*



