

ОЦЕНКА НА УСТОЙЧИВОСТТА НА СКАЛНИ ОТКОСИ СЪС СЛОЖНА ПОВЪРХНИНА НА СВЛИЧАНЕ

Евгения Александрова

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

РЕЗЮМЕ. Разгледан е графо-аналитичен метод за оценка на устойчивостта на скални откоси с предполагаема сложна повърхнина на свличане. За конкретни условия е определена устойчивостта на откоса на водохранилище. Отчетени са условията на сеизмично въздействие, външни и филтрационни сили.

ASSESSMENT OF STABILITY OF ROCKY SLOPE WITH COMPLICATED SURFACE OF SLIDING

Eugenia Alexandrova

Mining and geology University "St. Ivan Rilski", 1700, Sofia

ABSTRACT. The paper presents graphical and analytical method for assessment of stability of rocky slope with suggestive complications in the surface of sliding. For given conditions the stability of sliding in water storage is defined. We take into account the conditions of seismic influencing, as well as the role of outside and filtrate powers.

Анализът на устойчивостта на скални откоси се извършва в зависимост от прекъснатостта на масива (наличие или отсъствие на пукнатини) и въз основа на предположение, че повърхнината на свличане може да бъде праволинейна или сложна (начупена). Сложна повърхнина на плъзгане с криволинейни участъци се допуска при изчисляване на устойчивостта на откоси, изградени от квазиеднородни скали при малки размери на структурните блокове.

Оценката на устойчивостта на скални откоси се основава на следните принципи:

- 1) Прилаганите методи за изчисляване на устойчивото състояние на откоса трябва да отчитат възможната кинематика на обрушване на скалния масив в зависимост от геоложкия му строеж.
- 2) Прилаганият метод трябва да отговаря на следните предпоставки и изисквания:
 - Свличаният се скален масив не е абсолютно твърдо тяло, а се състои от скални блокове, които си взаимодействат помежду си. Това взаимодействие определя процеса и механизма на обрушване;
 - Достигането на гранично равновесие, в която и да е част от потенциалната повърхнина на плъзгане не означава нарушаване на устойчивостта на откоса. Тя се определя от взаимодействието на неустойчивите блокове или участъци с

разположените по-долу устойчиви части на масива. Свличащите и съпротивителните сили не са равни във всяка точка от плъзгателната повърхнина;

- Методът за оценка на устойчивостта на скални откоси трябва да служи като инструмент за анализ на влиянието на различни фактори, да позволява по-добре да се разбере и проанализира поведението на скалния откос в условията на изменящи се външни въздействия.
- 3) Оценката на устойчивостта на скални откоси е въз основа на метода на граничното равновесие. Формата на предполагаемата повърхнина на свличане се избира в зависимост от характера на прекъснатост на масива, релефа и кинематичната възможност за обрушване. Като правило, повърхнината на плъзгане се формира от обрушаването на обемни тела във вид на клинове и блокове. В много случаи плъзгателната повърхнина и разглеждания масив се представят в условията на равнинна задача при достатъчна степен на приближение.
 - 4) Повърхнината на свличане на скалния откос (склон) като правило съвпада със съществуващата в масива повърхнина на отслабване.
 - 5) Изчисляването на устойчивостта на скални откоси се извършва за две групи гранични състояния:

- първа група – когато загубата на устойчивост на откосите ще доведе проектираното съоръжение в състояние, непригодно за експлоатация (пълно или частично изключване на възможностите за изпълнение на зададените експлоатационни функции);
- втора група – когато загубата на устойчивост на откосите ще доведе съоръжението до състояние, непригодно за нормална експлоатация (нарушаване на работата на съоръжението, допускащо възможност за експлоатация с определени ограничения – във времето, в пространственото разположение и т.н.).

б) Оценката на устойчивостта на скални откоси се състои в определяне на разликата между свличащите и удържащите сили S , както за отделните блокове или отрязъци, така и за скалния откос като цяло.

Критерият за устойчивост на скални откоси в този случай е:

$$S = n_c A - \frac{m}{k_n} B \leq 0, \quad (1)$$

където: A и B са изчислените стойности съответно на сумарните свличащи сили и силите на граничното съпротивление на плъзгане;

k_n - коефициентът на надеждност;

n_c – коефициент, отчитащ различни съчетания от външни товари;

m – коефициентът на условие на работа.

Коефициентът на надеждност k_n отчита степента на отговорност и значимост на съоръжението, разрушаването или нарушаването на нормалната работа, което може да се предизвика от обрушаването на откоса.

Коефициентът на условие на работа m при изчисляване на устойчивостта на естествени и изкуствени откоси и склонове може да се приеме $m=1$.

При изчисляване на устойчивостта на скални откоси по втората група гранично състояние k_n и n_c също могат да се приемат равни на единица.

7) За съпоставителен анализ може да се приеме изчисляването на коефициента на устойчивост k_y , определен при $S=0$ и $m=1$. Условието за устойчивост в този случай ще има вида:

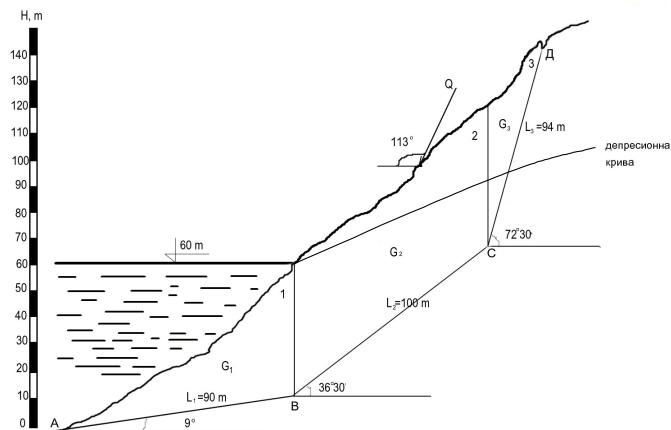
$$k_y = \frac{B}{A} \geq n_c k_n \quad (2)$$

Разгледаната методика може да се приложи за оценка на устойчивостта на откос (склон) на водохранилище, подсечено от полегата западаща зона на нарушение. Последната се апроксимира с начупена линия ABC (фиг.1) и стръмнозападаща пукнатина в масива (CD).

В таблица 1 са посочени физичните свойства и якостните показатели на скалния масив за отделните участъци.

Таблица 1.

№	α_i, \dots °	L_i, m	$\text{tg}\varphi_i$	c_i , MPa	G_i , MN	Q_i , MN	U_{1i} , MN	U_{2i} , MN	U_{3i} , MN	S_i , MN
3	72,5	94	0,70	0	18,5	0	0	4,71	4,20	13,3
2	36,5	100	0,80	0,075	102,0	15,6	40,0	4,20	12,5	2,2
1	9	90	0,75	0,020	46,3 (27,8)*	0	-	-	-	-17,0



Фиг.1 Изчислителна схема за оценка на устойчивостта на откоса на водохранилище

Плътността на скалите е $\rho=2,5 \text{ g/cm}^3$. Приети са следните коефициенти:

- коефициент на надеждност $k_n=1,15$;

- коефициент на сеизмичност $k_c=0,025$ ($n_c=0,9$) при най-неблагоприятното направление на сеизмичната сила $\delta = -5^\circ$.

Върху откоса действа външно натоварване $Q=15,6 \text{ MN}$ под ъгъл $\beta=113^\circ$.

За анализ на устойчивостта откосът се разделя на три вертикални ламели, както е показано на фигура 1. За всяка от тях се изчислява стойността S_i по формулата:

$$S_i = n_c A_i - \frac{B_i}{k_n}, \text{ MN}; \quad (3)$$

$$A_i = G_i [\sin \alpha_i + k_c \cos(\alpha_i - \delta)] + S_{i+1} \cos(\alpha_{i+1} - \alpha_i) + (U_{2i} - U_{3i}) \cos \alpha_i - Q_i \cos(\alpha_i + \beta_i), \text{ MN} \quad (4)$$

$$B_i = \text{tg} \varphi_i \{ G_i [\cos \alpha_i - k_c \sin(\alpha_i - \delta)] + S_{i+1} \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i) - (U_{2i} - U_{3i}) \sin \alpha_i - U_{1i} + Q_i \sin(\alpha_i + \beta_i) \} + c_i L_i, \text{ MN} \quad (5)$$

където: G_i е теглото на разглежданата ламела, MN (фиг.2);

S_{i+1} - загубата на устойчивост на горележащата ламела, предавана върху разглежданата ламела, MN;

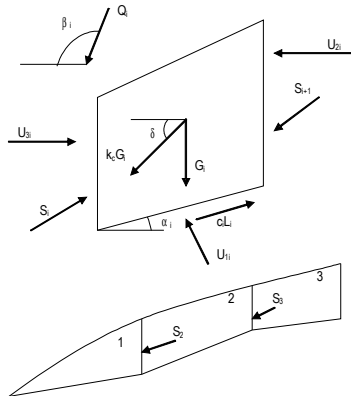
φ_i - ъгълът на вътрешно триене за i -тата ламела, ... °;

c_i - кохезията за i -тата ламела, MPa;

α_i - ъгълът на западане на плъзгателната повърхнина в границите на i -тата ламела, ... °;

L_i - дължината на плъзгателната повърхнина в i -тата ламела, m ;

U_{1i} , U_{2i} , U_{3i} - силите от хидростатичния напор за разглежданата ламела, MN ;



Фиг.2 Схема за определяне на силите, действащи за всяка ламела

$$U_{1i} = \frac{F_i}{\cos \alpha_i} \rho_v, MN; \quad (6)$$

$$U_{2i} = \frac{1}{2} h_{i+1}^2 \rho_v, MN; \quad (7)$$

$$U_{3i} = \frac{1}{2} h_i^2 \rho_v, MN; \quad (8)$$

F_i - площта на масива, разположен под депресионната крива в i -тата ламела, m^2 ;

h_i и h_{i+1} - височината на водното ниво съответно до долната и горната граница на i -тата ламела, m .

Изчисляването на инерционните сили от теглото на потопения откос в първата ламела е без отчитане на действието на водата.

Анализът на получените резултати в таблица 1 показват, че като цяло откосът е устойчив, тъй като $S = -17 MN$. Коефициентът на устойчивост в този случай е

$$k_y = \frac{B_1}{A_1}$$

$$k_y = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1 \{ G_1 [\cos \alpha_1 - k_c \sin(\alpha_1 - \delta)] + S_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1) - (U_{21} - U_{31}) \sin \alpha_1 - U_{11} + Q_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1) \} + c_1 L_1}{G_1 [\sin \alpha_1 + k_c \cos(\alpha_1 - \delta)] + S_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1) + (U_{21} - U_{31}) \cos \alpha_1 - Q_1 \cos(\alpha_1 - \beta_1)}$$

$$k_y = \frac{0,75 \{ 46,3 [\cos 9^\circ - 0,025 \sin(9^\circ - (-5^\circ))] + 23,2 \sin(36,5^\circ - 9^\circ) - (0 - 0) \sin 9^\circ - 0 + 0 \cdot \sin(9^\circ + 0) \} + 0,020 \cdot 90}{46,3 [\sin 9^\circ + 0,025 \cos(9^\circ - (-5^\circ))] + 23,2 \cos(36,5^\circ - 9^\circ) + (0 - 0) \cos 9^\circ - 0 \cdot \cos(9^\circ - 0)} = 1,52$$

$$k_y = 1,52$$

По този начин разглежданият скален откос на водохранилището в условията на сеизмични въздействия и при възникване на филтрационни сили е устойчив.

Литература

Дунаев В.А., Серый С.С. 1987. Структурные особенности массивов скальных пород и их влияние на устойчивость карьерных откосов. http://www.geomix.ru/ctati.files/st_22.htm

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