

ОЦЕНКА НА УСТОЙЧИВОСТТА НА НЕПРОДУКТИВНИТЕ ДЕПА В ОТКРИТ РУДНИК "НЕДЕЛИЩЕ"

Евгения Александрова¹, Пешка Стоева²

¹Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 1700 София, jogeni@abv.bg

²Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Предложен е прост, но прецизен метод за оценка на устойчивостта на непродуктивни депа чрез детерминиране на сеизмичните критични ускорения, необходими за определяне на носещата способност на масива, ограничен от плъзгателната повърхнина в състояние на гранично равновесие. Едновременно с това се създава възможност за изчисляване на коефициента на устойчивост. Този метод се основава на принципа на граничното равновесие и на метода на ламелите. Предлага се критичните ускорения да се използват като мярка за коефициентите на сигурност.

STABILITY VALUATION OF NO PRODUCTIVE DEPOTS IN OPEN MINE "NEDELISHTA"

Evgenia Alexandrova¹, Peshka Stoeva²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria, jogeni@abv.bg

²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. A simple but accurate method of stability valuation of embankments is developed to determine the critical earthquake acceleration that is required to bring a mass of soil, bounded by a slip line of any shape and the free surface, to a state of limiting equilibrium. At the same time, the usual factor of safety can be determined. It is based on the principle of limiting equilibrium and the method of slices. Effective stress strength parameters are used. It is suggested to use the critical acceleration as a measure of the factors of safety.

Оценката на устойчивостта на насипищни откоси е сложна инженерна задача, решението на която зависи от редица инженерно-геоложки условия и технологични фактори. В много случаи тя е обусловена от недостатъчни изследвания за физичните и якостните характеристики на литоложките разновидности, изграждащи масива или от условията на неопределеност.

Съществува голямо разнообразие в методите за оценка на устойчивостта на насипищните откоси. Те се различават по точността и броя на условията и факторите, от които тя зависи. По тази причина изборът на достоверна схема за моделиране на деформационния процес и свързаните с него технологични параметри за устойчив насипищен откос представлява трудност.

Условията и факторите трябва да се свързват с класически постановки и доказани с времето си по-стари методи за оценка (Morgenstern, 1965; Sarma, 1973).

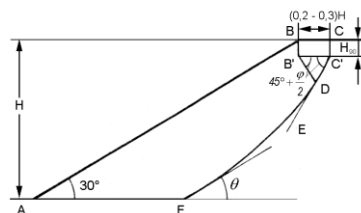
Към прилаганите изчислителни методи се предявяват определени изисквания: възможност за по-точно отчитане на характеристиките на геоложката среда и параметрите на минните работи; бързина и простота на изчисленията; надеждност на получените крайни оценки и възможност за съпоставяне на изчислителни и фактически височини и ъгли на реални откоси (Zlatanov и др., 2004).

Ако в долната част на насипищното стъпало съществува слаб контакт или слаба прослойка (слаба прослойка от пластични глини или готови повърхнини), се установява, че свлачищната повърхнина преминава по тях (фиг.1). В този случай вероятната повърхнина на плъзгане е сложна съставна, включвайки с повърхнината на контакта ъгъл:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(\varphi_n - \varphi'_n) - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{\sin \varphi'_n}{\sin \varphi_n} \right), \quad (1)$$

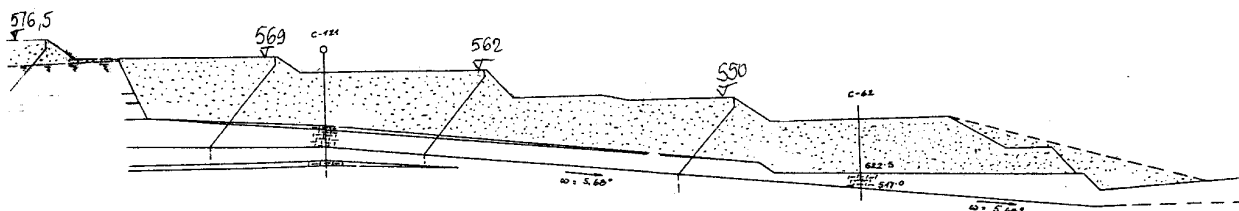
където: φ_n е ъгълът на вътрешно триене на материала в насипището, коригиран със съответен коефициент на сигурност, ...°;

φ'_n – същият показател за слабия слой, ...°.



Фиг.1 Повърхнина на плъзгане в насипищен откос при наличие на слаб контакт в основата

Оценката на устойчивостта на непродуктивни депа (насипи), е много важна задача особено при наличието на посочената слаба основа. Такъв е случая с изследването на устойчивостта на вътрешното насипище на рудник "Неделище-запад", което се характеризира с мулдообразно дъно с променливи наклони до $6,5^\circ$. Насипът лежи върху черни глини с прослойки от нечисти въглища с дебелина от 5 до 10 m (фиг.2).



Фиг.2 Надлъжен профил VI-VI на вътрешното насипище на рудник "Неделище"

Таблица 1

Физични и якостни показатели на литоложките разновидности, изграждащи насипищния масив

№	Литоложки разновидности	Обемно тегло, N/m^3	Кохезия, kN/m^2	Ъгъл на вътрешно триене, $^\circ$
1	Песъчливи и прахови глини	19,5	30	18
2	Глини и нечисти въглищни прослойки от въгленосния хоризонт	15,5	40	5
3	Слаби прослойки във въгленосния хоризонт	-	20	4
4	Насип от глини	17,0	30	5

За да се осигури по-голяма сигурност на получените резултати оценката за устойчивостта ще бъде реализирана въз основа на два подхода:

- Оценка на устойчивостта по профили, ориентирани перпендикулярно на насипищните стъпала и на изолиниите на потенциалната плъзгателна повърхнина по метода на призмата на активен земен натиск, околтурен от две образувачи, централен блок с плъзгателна повърхнина по наслояването в долнището на въгленосния хоризонт и пасивна призма в петата на откоса, когато дъното на рудника е над огледалната повърхнина. Прилагането на този метод е продиктуван от механизма на вече проявените свлачища със сложна съставна форма на плъзгателната повърхнина в рудник "Неделище".

- Оценка на устойчивостта по профили, ориентирани перпендикулярно на насипищните стъпала и на изолиниите на потенциалната плъзгателна повърхнина по метода на Моргенщерн и Прайс, отчитащ критичното хоризонтално ускорение, което би възникнало в потенциални повърхнини на плъзгане в свързани почви или в повърхнини с остатъчна якост при условие на гранично равновесие.

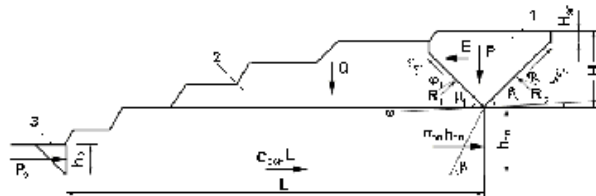
Въгленосният хоризонт се характеризира с ниски якостни показатели на срязване (табл.1) и наличието на слаби прослойки по наслояването, които се проявяват като потенциално място на формиране на хлъзгателни повърхнини при развитието на свлачищни процеси.

Стабилитетни изчисления

1) Оценка на устойчивостта по метода на призмата на активен земен натиск

Устойчивостта се изчислява при следните изходни данни (фиг.3, табл.1):

- дебелина (m_i), m;
- обемно тегло, (γ_i), N/m^3 ;
- ъгъл на вътрешно триене, (ϕ_i), $^\circ$;
- кохезия, (c_i), Pa.



Фиг.3 Схема за определяне на устойчивостта по метода на призмата на активен земен натиск

1 – призма на активен земен натиск; 2 – централен блок; 3 – призма на пасивен земен натиск

Оценката на устойчивостта се дава с коефициента на устойчивост:

$$F = \frac{c_0 L + \sum_{i=1}^n Q_i \cos \omega \tan \phi_0 + \sum_{i=1}^n Q_i \sin(+\omega)}{E + \sum_{i=1}^n Q_i \sin(-\omega)}, \quad (2)$$

където: c_0 и ϕ_0 са съответно кохезията (Pa) и ъгълът на вътрешно триене ($^\circ$) на повърхнината на плъзгане;

L - дължината на повърхнината на плъзгане по основата на централния блок в m;

ω - ъгълът на залягане на основата на централния блок ("+" при наклон към масива и "-" при наклон към изкопа);

E - активният натиск (разликата от проекциите на свличащите и съпротивителните сили в призмата на активен натиск върху повърхнината на плъзгане в основата на централния блок);

2) Методът на Моргенщерн и Прайс първоначално е разработен въз основа на други методи чрез отчитане на равновесното състояние на ламелата (1965). Уили Спенсър приема общото равновесие на моментите, докато Моргенщерн и Прайс допускат само моментните уравнения на отделните ламели. Всеки метод удовлетворява всички условия на граничното равновесие, но методът на Спенсър изисква компютърно време. Поради тази причина в компютърната програма TSLOPE е заложен метода на Моргенщерн и Прайс и за да се отчетат всички сили върху ламелата (фиг.4) той е разширен и с метода на Спенсър. Моргенщерн и Прайс дават оценката на устойчивостта с коефициента:

$$F = \frac{(E_i - P_{wi}) \tan \phi_i + c_i H_i}{X_i} \quad (3)$$

където: E_i - страничното натоварване на вертикалното сечение i , съответстващо на ефективно напрежение, kN;

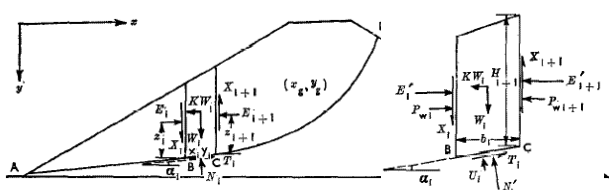
P_{wi} - резултантната от действието на порния натиск на вертикалната страна на сечение i , kN;

ϕ_i - ъгълът на вътрешно триене на материала в i -тото сечение, ...°;

c_i - кохезията на материала в i -тото сечение, kN/m²;

H_i - височината на хлъзгащата се маса, спрямо сечение i , m;

X_i - срязващите напрежения на вертикалните сечения i , kN.



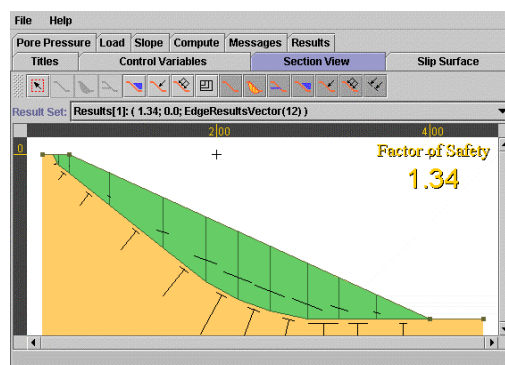
Фиг.4 Силов полигон по метода на Моргенщерн и Прайс

Методът на Спенсър допуска че тези външни сили са наклонени под ъгъл θ спрямо хоризонтална равнина.

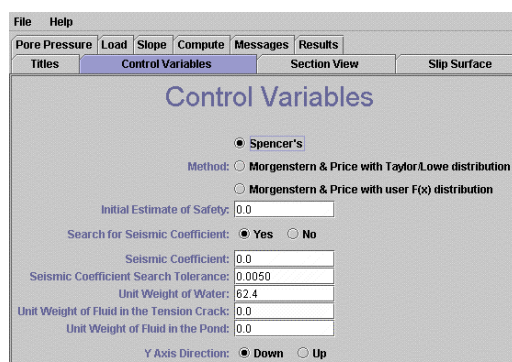
$$\frac{X_i}{E_i} = \tan \theta, \quad (4)$$

където: θ е определен по изчислителен път.

Методът на Моргенщерн и Прайс включва голям брой итерации и прилагането му изисква ползването на софтуерен продукт. За целта е приложена програмата TSLOPE 1.1. Програмата дава възможност първоначално да се дефинира насищания откос и във всяка точка да се дадат физико-механичните и якостните характеристики на литоложките разновидности, изграждащи масива (фиг.5). След това в "Control Variables" (фиг.6) се задава метода за оценка на устойчивостта. Изчисленията се извършват при различен брой итерации (до 2000) като се търсят най-неблагоприятните повърхнини на плъзгане. Получените резултати се обобщават в меню "Results" (фиг.7).



Фиг.5



Фиг.6

Results[5]							
Factor of Safety: 1.0 Seismic Coefficient: 0.28							
Edges							
	id	Normal	Shear	Weight	X	InterSlice	Theta
Edge 1	1	0.0	0.0	0.0	200.0	0.0	0.0
Edge 2	2	380.1067...	674.4297...	32625.0	215.0	12664.83...	33.16073...
Edge 3	3	1601.394...	1704.281...	83737.5	230.0	54309.91...	33.16073...
Edge 4	4	2421.369...	2388.415...	70325.0	240.0	83464.88...	33.16073...
Edge 5	5	2384.755...	2358.179...	152250.0	260.0	150727.4...	33.16073...
Edge 6	6	2713.669...	2627.981...	162400.0	280.0	212532.3...	33.16073...
Edge 7	7	4141.925...	3782.701...	198468.75	305.0	226767.9...	33.16073...
Edge 8	8	4380.642...	3948.346...	176718.75	330.0	206555.7...	33.16073...
Edge 9	9	4768.274...	4220.578...	145000.0	355.0	145903.9...	33.16073...
Edge 10	10	3470.012...	3163.882...	108750.0	380.0	100460.4...	33.16073...
Edge 11	11	3201.555...	2893.648...	67968.75	405.0	32997.56...	33.16073...
Edge 12	12	1214.843...	1303.739...	22656.25	430.0	-119.749...	33.16073...

Фиг.7

В таблица 2 са посочени обобщените резултати от статистичните изчисления по двата метода (метод на призмата на активен земен натиск и метод на Моргенщерн и Прайс).

Таблица 2

Обобщени резултати от стабилитетните изчисления

Сили в приоткосния масив, kN/m		Насипищен хоризонт			
Свличащи		I - 550	II - 562	III - 569	IV- 576.5
	E	4090	4780	5370	6440
	Q	4880	11300	15730	18120
	Общо	8970	16080	21100	24560
Задържащи		3430	7940	12070	17490
	QL	2960	4800	6280	8000
	P _p	600	600	600	600
	Общо	6690	13340	18950	26090
Метод на призмата на активен натиск	F	0.75	0.83	0.9	1.06
TSLOPE 1.1 (Метод на Моргенщерн и Прайс)	F	0.44	0.56	0.54	0.85

Заключение

От получените резултати се вижда, че прилагането на метода на Моргенщерн и Прайс дава по-ниски стойности за коефициента на устойчивост на отделните насипищни стъпала. Това се дължи предимно на отчитането на хоризонталното ускорение и на порния натиск, докато при метода на призмата на активен земен натиск те не са взети под внимание.

Получените коефициенти на устойчивост (табл.2) и по двата метода са по-ниски от единица (насипищни хоризонти II с кота 550 m, III с кота 562 m и IV с кота 569 m), но на практика видими деформации не са наблюдавани по тях. Причина за това може да се търси в неотчетени задържа-

щи сили, произтичащи от мулдообразната форма на дъното на рудника. Хоризонт V с кота 576,5 m се намира в гранично равновесие ($F=1,06$).

Основните препоръки, които могат да се направят са:

- не е целесъобразно да се извършват насипищни работи върху хоризонти II, III и IV;

- съществува възможност за разширение на V хоризонт, но при осигурена устойчивост на вътрешното насипище като цяло;

- най-долните насипищни хоризонти са с намалени физични и якостни показатели, поради продължителния им престой под вода, което налага подновяване на изследванията с оглед по-сигурно оразмеряване на вътрешното насипище при бъдещото му развитие.

Литература

- Morgenstern, N. R. & Price, V. E.* (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. *GPotechnique* 15, No. 1, 79-93.
- Sama, S.K.* 1973. Stability analysis of embankments and slopes. *Gkotechnique* 23, No. 3, 423-433.
- Zlatanov, P., P. Stoeva, R. Kachikova, G. Trapov.* 2004. Computer model of the estimation to risk by construction of the non-productive deposits. *Colloque les risques en Génie Civil - 18/19 mars 2004 - Tunisie*.

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