

УДК 519.67, 551.1.3

**Гончаренко О. В.**, аспірант,Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,  
кафедра інженерної геології та гідрогеології,  
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна**МЕТОД ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ЗСУВНИХ СХИЛІВ  
НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ ПЛАСТИЧНОСТІ ТРЕСКА**

В інженерній геології стійкість зсувних схилів оцінюється відношенням утримуючих і руйнуючих сил, що являються тензорними величинами, ділення яких не завжди правомірне. Пропонується новий метод, який базується на умові пластичності Треска, а стійкість розраховується різницею максимальних напруг і руйнуючих сил. Цей метод відповідає загальному підходу до оцінки рівноваги процесів у теоретичній фізиці.

**Ключові слова:** стійкість, зсувний схил, напруження, критерій пластичності Треска.

В усіх механіко-математичних методах ступінь стійкості визначається кількісно коефіцієнтом стійкості  $k_y$  (або “запасом стійкості”, чи “коефіцієнтом запасу стійкості”), який дорівнює величині відношення утримуючих і руйнуючих сил по поверхні зміщення зсуву, що розглядається. За ступенем стійкості виділяють дві основні категорії схилів: стійкі ( $k_y > 1$ ) і нестійкі ( $k_y \leq 1$ ) [4].

Відомо, що сила — це тензорна величина. Але ділення тензорів, як у випадку визначення коефіцієнту стійкості, не завжди правомірне [5]. Тому ми звернулися до більш надійного з фізичної точки зору способу оцінки стійкості схилів, для чого пропонуємо використовувати умову пластичності Треска:

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2,$$

$$2\tau_{\max} - (\sigma_1 - \sigma_3) = 0.$$

Ця умова визначає перехід деякої частини масиву ґрунтів зсувного схилу в пластичний стан, тобто початок формування поверхні зміщення і розвитку зсуву.

В теоретичній фізиці прийнятий загальний підхід оцінки рівноваги процесів:  $\Delta = 0$ ,  $\Delta$  — це фізична величина, яку називають “невідповідністю” ситуації і вираховують, записуючи будь-який фізичний закон в особливій формі (наприклад, закон Ньютона  $F = ma$  записують у вигляді  $F - ma = 0$ ) [6].

Ми проаналізували ситуацію відносно оцінки стійкості масивів ґрунтів. Припустимо, що частка середовища поводить себе як пружне тіло, якщо дотичні напруження  $\rho t$  (у нашому випадку  $\tau_{\text{руйн.}} = \sigma_n \tan \phi + c$ ), і як пластичне тіло, якщо дотичне напруження хоча б на одній площадці в точці, що розглядається, дорівнює чи більше  $k$  (наприклад, початок зсувного зрушення, як перехід від пружного до пластичного стану ґрунту у певній частині зсувного схилу, уздовж поверхні зміщення, що виникає — прояв пластичних деформацій). Постійна  $k$  різна для різних ґрунтів і навіть для одного ґрунту, в залежності від щільності, вологості та інших чинників [1].

Таким чином, постулюється, що властивості пластичності спостерігаються у тих точках зсувного масиву, в яких

$$\rho\tau_{\max} = k, \quad (1)$$

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{руйн.}}$$

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = k.$$

Це і є умова пластичності Треска [ 3 ].

У просторі напружень рівняння поверхні екучості ( поверхні зсувного зміщення у глинистих ґрунтах ) в цьому випадку має вигляд:

$$f = \varphi(p^{ij}) - k = 0, \quad (2)$$

де  $\varphi(p^{ij})$  представляє собою вираз максимального дотичного напруження  $\rho\tau_{\max} (\tau_{\max})$  у даній точці зсувного масиву через компоненти тензора напружень  $p^{ij}$ .

Шляхом нескладних математичних перетворень [2] з (2) отримуємо рівняння  $\rho\tau^2 = p^2 - (p^i n_i^2)^2$ , з якого отримуємо екстремальні значення дотичних напруг:

$$\rho\tau_1 = \pm((p_2 - p_3)/2); \quad \rho\tau_2 = \pm((p_3 - p_1)/2); \quad \rho\tau_3 = \pm((p_1 - p_3)/2). \quad (3)$$

За умови  $p_1 > p_2 > p_3$ , найбільшим за величиною буде дотичне напруження

$$\rho\tau_{\max} = \pm((p_1 - p_3)/2). \quad (4)$$

В випадку плоскої задачі умова рівноваги при  $p_1 > p_3$  буде мати вигляд:

$$\rho\tau = \pm((p_1 - p_3)/2) = \rho\tau_{\max}, \quad (5)$$

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2. \quad (6)$$

Якщо  $p_1 = p_2 > p_3$ , то поверхня тензора напружень буде поверхнею обертання навколо вісі  $z$ . Усі площадки, що проходять через вісь  $z$ , будуть головними, і площадок, на яких виконується умова (1), (5) і (6) буде нескінченно багато. Всі вони будуть дотикатися до круглого конусу з вершиною у точці, що розглядується, віссю, яка співпадає з віссю  $z$ , і кутом розчину  $90^\circ$ , тобто, представляти поверхні круглого циліндру (у плоских перерізах з координатами  $x; z$ ).

Ці лінії в однорідному геологічному середовищі, як показують дані експериментів на моделях з еквівалентних матеріалів і на моделях ЕГА, тотожно співпадають і представляють собою векторні, силові, а у випадку  $\tau_{\max} = k$  лінії токів.

У зв'язку з цим рекомендується більш простий підхід до оцінки граничного стану зсувних схилів, коли цей стан визначається з умов Треска:

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = k,$$

$$\tau_{\max} - (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = 0,$$

$$\tau_{\max} - \tau_{\text{руйн.}} = 0,$$

$$k = 0.$$

Практичні розрахунки стійкості зсувного схилу виконано наведеним вище методом для ділянки 13-ї станції Великого Фонтану в м. Одеса.

## Література

1. *Зелинский И. П., Шатохина Л. Н.* Изучение устойчивости склонов северо-западного побережья Черного моря // Инж. Геология. — 1987. — № 2. — С. 46-50.
2. *Работнов Ю. Н.* Механика деформируемого твердого тела. — М.: Наука, 1979. — 744 с.
3. *Седов Л. И.* Механика сплошной среды. — М.: Наука, 1973. — Т. 2. — 584 с.
4. *Тихвинский И. О.* Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов. — М.: Наука, 1988. — 144 с.
5. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Физика сплошных сред. — М.: Мир, 1977. — Т. 7. — С. 24-47.
6. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Электродинамика. — М.: Мир, 1977. — Т. 6. — С. 259-261.

**Гончаренко О. В.**

Одесский государственный университет им. И. И. Мечникова,  
кафедра инженерной геологии и гидрогеологии,  
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

### МЕТОД ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ НА ОСНОВЕ КРИТЕРИЯ ТРЕСКА

#### Резюме

Предложенный в статье метод оценки устойчивости оползневых склонов может служить надежным дополнением к уже существующим методам. Он основан на условии пластичности Треска, а устойчивость оползневого склона оценивается разницей максимальных напряжений и сдвигающих сил. Метод имеет надежное физическое и математическое обоснования и применен для оценки устойчивости одного из оползневых склонов Одесского побережья.

**Ключевые слова:** устойчивость, оползневой склон, напряжения, критерий пластичности Треска.

**Goncharenko O. V.**

Odessa State University,  
Department of Engineering geology and Hydrogeology,  
Dvorianskaya st., 2, Odessa, 65026, Ukraine

### METHOD OF ESTIMATION OF LANDSLIDE SLOPES' STABILITY ON BASIS OF TRESK'S PLASTIC CONDITION

#### Summary

Our new method of estimation of landslide slopes' stability can be a good addition for well-known methods. It is based on Tresk's plastic condition, and landslide slope's stability is estimated with disparity between maximal tensions and destruction forces. This method has reliable physical and mathematical basis and was used for estimation of stability of one from landslide slopes of Odessa's seaside.

**Key words:** stability, landslide slope, tensions, Tresk's plastic condition.