

К РАСЧЁТУ УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВОВ ГРУНТА И ГОРНЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СДВИЖЕНИЯ И ПОВЕРХНОСТИ НАИМЕНЬШЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИЖЕНИЮ

Полищук С.З., Голуб В.В.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры
г. Днепропетровск, Украина

АНОТАЦІЯ: Запропоновано підхід до оцінки стійкості укосів та склонів, що базується на положеннях механіки ґрунтів і гірських порід та інженорному методі алгебраїчного додавання сил.

АННОТАЦИЯ: Предложен подход к оценке устойчивости откосов и склонов, который базируется на положениях механики грунтов и горных пород, а также инженерном методе алгебраического сложения сил.

ABSTRACT: An approach to the assessment of the stability of slopes and slopes, which is based on the provisions of the mechanics of soils and rocks, as well as the engineering method of algebraic addition of forces is proposed.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивость, интегральные поверхности сдвига, грунты и горные породы.

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы прогнозирования и предотвращения опасных геодинамических процессов, оценки устойчивости откосов и склонов представляют значительный интерес для науки и практики, т.к. достаточно широко не изучены.

Полученные ранее результаты исследований не позволяют в полной мере учитывать реальную структуру массивов грунтов и горных пород [1].

Цель работы - развитие теоретического описания интегральных поверхностей сдвижения в части учета реальной структуры, пористости, обводненности и бокового распора грунтов и горных пород.

Местоположение и форма интегральных поверхностей сдвижения - в приоткосной области массива грунтов и горных пород.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В поперечном сечении массива горных пород (рис. 1) выделим элементарный вертикальный отсек шириной dx и высотой h , имеющий единичную толщину. Пусть i литологических разностей, перенумерованных от дневной поверхности в глубину массива, принадлежат элементарному отсеку. Каждая k -тая литологическая разность имеет физико-механические свойства: γ_k - объемный вес, ρ_k - угол внутреннего трения, S_k - удельное сцепление, m_k - пористость, v_k - коэффициент Пуассона. Будем полагать, что массив горных пород имеет равномерно распределенную открытую пористость. Считаем, что массив горных пород обводнен начиная с j -ой литологической разности и глубже. Нумерация литологических разностей, принадлежащих отсеку, (слоев элементарного отсека) определена так $k = 1, 2, \dots, j, j + 1, \dots, i$. Необходимо в сложно-структурном пористом массиве с учетом наличия бокового распора и обводнения массива с j -ой слоя определить местоположение и форму интегральной поверхности сдвижения $y = y(x)$. Следует подчеркнуть, что физико-механические свойства слоев, находящихся под водой, характеризуют обводненное состояние грунта.

Дифференциальное уравнение, описывающее интегральную поверхность сдвижения $y = y(x)$ в массиве грунта, получим следующим образом.

Вес элементарного отсека G_0 определим следующим образом:

$$G_0 = \sum_{k=1}^i \gamma_k \cdot h_k \cdot (1 - m_k) \cdot dx + \sum_{k=j}^i \gamma_b \cdot h_k \cdot dx, \quad (1)$$

где h_k - мощность k -го элементарного слоя,

$m_k = \frac{V_p}{V}$ пористость k -го элементарного слоя,

V_p - объем пор в k -ом элементарном слое,

V - полный объем k -го элементарного слоя,

γ_b - объемный вес воды.

С учетом взвешивания грунта, обусловленного гидростатическим давлением воды, вес элементарного отсека G определим по формуле:

$$G = \sum_{k=1}^{j-1} \gamma_k \cdot (1 - m_k) \cdot h_k \cdot dx + \sum_{k=j}^i (\gamma_k - \gamma_b) \cdot (1 - m_k) \cdot h_k \cdot dx. \quad (2)$$

Из формулы (3) получим выражение для определения напряжения σ_1 , действующего на элементарную площадку $1 \cdot dx$ (единичной толщины):

$$\sigma_1 = \sum_{k=1}^{j-1} \gamma_k \cdot (1 - m_k) \cdot h_k + \sum_{k=j}^i (\gamma_k - \gamma_b) \cdot (1 - m_k) \cdot h_k. \quad (3)$$

Величину напряжения σ_2 , действующего на боковую поверхность элементарного отсека, будем определять следующим образом:

$$\sigma_{2i} = \lambda_i \cdot \sigma_{1i} - P_i \cdot m_i,$$

где λ_i - коэффициент бокового распора,

P_i - гидростатическое давление на уровне подошвы i^{-2o} слоя,

m_i - пористость в i^{-oM} слое.

Касательные напряжения, действующие на боковых гранях отсека, учитывать не будем.

Пусть в i^{-oM} слое касательная к поверхности сдвижения составляет с горизонтом угол φ .

Перейдем к вычислению усилий, действующих на элементарный отсек. Поскольку боковые сжимающие напряжения равны по величине и направлены друг к другу, то они взаимно компенсируются в слоях $k=1, 2, \dots, i-1$. Рассмотрим i^{-mvi} слой (рис. 1).

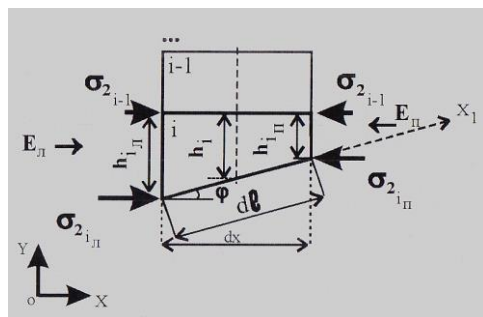


Рис. 1. Расчетная схема учета бокового распора

Боковые усилия, действующие на левую $E_{л}$ и правую $E_{п}$ стороны отсека, будут определяться так:

$$E_{in} = \frac{\sigma_{2_{in}} + \sigma_{2_{i-1}}}{2} \cdot h_{i_n}, E_{in} = \frac{\sigma_{2_{in}} + \sigma_{2_{i-1}}}{2} \cdot h_{i_n}. \quad (4)$$

Тогда результирующее боковое усилие E определим по формуле:

$$E = W_i \cdot \operatorname{tg}(\varphi) \cdot dx. \quad (5)$$

Вес элементарного отсека на уровне подошвы i^{-20} слоя будет

$$G = R_i \cdot dx,$$

где

$$R_i = \sum_{k=1}^{j-1} \gamma_k \cdot (1 - m_k) \cdot h_k + \sum_{k=j}^i (\gamma_k - \gamma_b) \cdot (1 - m_k) \cdot h_k. \quad (6)$$

Далее определим удерживающие и сдвигающие усилия, действующие на элементарной площадке $1 \cdot dl$, и спроектируем их на направление x_1 (касательная к поверхности сдвижения). Будем рассматривать условие предельного равновесия, т.е. равенство сдвигающих и удерживающих усилий на площадке $1 \cdot dl$

$$-G \cdot \sin(\varphi) + E \cdot \cos(\varphi) + f \cdot E \cdot \sin(\varphi) + \frac{C_i \cdot dx}{\cos(\varphi)} = 0, \quad (7)$$

где $f = \operatorname{tg}(\rho_i)$.

Выполняя математические преобразования, получим обыкновенное нелинейное дифференциальное уравнение,

$$(f \cdot W + C) \cdot \left(\frac{dy(x)}{dx}\right)^2 - (R - W) \cdot \frac{dy(x)}{dx} + f \cdot R + C = 0 \quad (8)$$

описывающее интегральную поверхность сдвижения $y = y(x)$ в горном массиве.

В упрощенном варианте форма и местоположение поверхности сдвижения $y = y(x)$ определяется из решения обыкновенного нелинейного дифференциального уравнения [2]:

$$\frac{dy(x)}{dx} = \frac{\gamma \cdot (H(x) - y(x)) - \sqrt{\gamma^2 \cdot (H(x) - y(x))^2 - 4 \cdot C \cdot \gamma \cdot f \cdot (H(x) - y(x)) - 4 \cdot C^2}}{2 \cdot C}, \quad (9)$$

где γ - объемный вес породы,

C - сцепление в массиве,

$f = \operatorname{tg}(\rho)$, ρ - угол внутреннего трения породы.

Обыкновенное нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка (9) описывает интегральные поверхности сдвижения в породном массиве на глубинах $h \geq H_{90}$. Как известно, на глубинах более H_{90} в породном массиве возникают элементарные площадки сдвижения.

Для исследований особый интерес представляют те части породного массива, которые расположены на глубинах $h < H_{90}$. Такие участки в массиве начинаются от дневной поверхности, кроме того, они также могут располагаться и внутри сложно-структурного массива (в породах, для которых вес вышележащего массива недостаточен для возникновения площадок сдвижения).

Для случая $h < H_{90}$ имеем обыкновенное нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка, которое описывает поверхности наименьшего сопротивления сдвижению в породном массиве

$$\frac{dy(x)}{dx} = \arctg \left\{ \frac{\sqrt[3]{k(x)}}{6} - \frac{2 \cdot b(x)}{\sqrt[3]{k(x)}} \right\}, \quad (10)$$

где

$$k(x) = 12 \cdot \sqrt{12 \cdot b(x)^3 + 81 \cdot a(x)^2} + 108 \cdot a(x),$$

$$a(x) = \frac{\gamma \cdot h(x)}{C},$$

$$b(x) = 1 - f \cdot a(x).$$

В общем виде дифференциальные уравнения (9), (10) аналитического решения не имеют. Поэтому они интегрируются численно на ПЭВМ. Дифференциальное уравнение поверхности наименьшего сопротивления сдвижению (10) совместно с дифференциальным уравнением, описывающим интегральные поверхности сдвижения в массиве (9), позволяют решать задачи оценки устойчивости массивов грунта и горных пород без наложения на породный массив геометрических ограничений (заданных форм поверхностей сдвижения в виде: части окружности, части спирали и т.п.).

ВЫВОДЫ

Предложена методика определения в массиве поверхностей сдвижения при одновременном нахождении формы и местоположения. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании

объектов строительства, бортов карьера, отвалов, а также для прогнозирования оползня опасных участков массивов грунта и горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голуб В.В. Дифференциальное уравнение линии сдвижения природных и техногенных откосов / Голуб В.В., Полищук С.З. // Сб. науч. тр. НГАУ. – Днепропетровск: РИК НГАУ, 2000. -№9, Т.2. - С. 140-146.
2. Голуб В.В. Новые подходы к оценке устойчивости откосов и склонов: теория и практика / Голуб В.В., Полищук С.З., Ветвицкий И.Л. - Днепропетровск: ЧМП «Экономика», 2011. – 172 с.

REFERENCES

1. V.Golub, S.Polishchuk. The differential equation of the line displacement of natural and man-made slopes // Coll. scientific works NMAU. Dnipropetrovsk: RIC NSAU, 2000. - №9, T.2. - P.140-146.
- 2.V.Golub, S.Polishchuk, I.Vetvitsky New approaches to the assessment of the stability of slopes and slopes: Theory and practice.- Dnipropetrovsk: NMP "Economy", 2011. – 172 p.

Статья поступила в редакцию 19.07.2016 г.