

УДК 624.131.537: 622.271.33

ДО ПИТАННЯ АДЕКВАТНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЕНТА СТІЙКОСТІ УКОСІВ І СХИЛІВ ВАРІАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

К ВОПРОСУ АДЕКВАТНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ ВАРИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

TO THE QUESTION OF ADEQUATE INTERPRETING THE RESULTS OF SLOPES STABILITY RATIO CALCULATION USING VARIATION METHOD

Шаповал В.Г., д.т.н., проф. (Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ), **Причина К.С., асп.**, (Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ)

Шаповал В.Г., д.т.н., проф. (Национальный горный университет, г. Днепропетровск), **Причина Е.С., асп.**, (Национальный горный университет, г. Днепропетровск)

Shapoval V.G., doctor of technical sciences, professor (National Mining University, Dnipropetrovsk), **Prychyna K.S., postgraduate** (National Mining University, Dnipropetrovsk).

Наведено результати використання різних методів розрахунку стійкості укосів і схилів. З метою ув'язки отриманих результатів між собою запропонована проста аналітична емпірична залежність.

Приведены результаты использования различных методов расчета устойчивости откосов и склонов. С целью увязки полученных результатов между собой предложена простая аналитическая эмпирическая зависимость.

The results of using different methods for slopes stability calculation are given. In order to link the results obtained with each other, a simple analytical empirical relation is proposed.

Ключевые слова:

Укіс, стійкість, ковзання, зчеплення.

Откос, устойчивость, скольжение, сцепление.

Slope, stability, slip, cohesion.

Введение. Проблема обеспечения устойчивости откосов и склонов до настоящего времени все еще не нашла своего окончательного решения [1]. Особенно данная проблема актуальна в г. Днепропетровске, расположенном на территории со сложными геоморфологическими, структурно-геологическими особенностями и при активном влиянии человеческого фактора. В регионе насчитывается более 30 крупных оврагов и балок, общая длина которых превышает 130 км, общая площадь – более 5 тыс. га, также установлено около 100 локальных зон нарушений, обусловленных его нахождением в зоне перехода от Украинского щита к Днепровско-Донецкой впадине.[2,3].

На наш взгляд, одним из направлений решения вопроса является совершенствование существующих в настоящее время методов определения коэффициента устойчивости k_y , вследствие того факта, что сих пор не установлена степень истинности каждого из них. При этом также имеет важное значение адекватная интерпретация полученных с использованием различных методов результатов расчетов.

Анализ последних исследований. Установленные с использованием различных методов значения коэффициентов устойчивости могут существенно отличаться друг от друга, демонстрируя принципиально разные исходы одной и той же решаемой задачи [4, 5, 6, 7].

Постановка цели и задач исследований. В этой связи представляет интерес количественная оценка и увязка установленных с использованием различных методов значений коэффициентов устойчивости откосов и склонов.

Цель работы состоит в разработке и обосновании эмпирических зависимостей, которые позволили бы адекватно интерпретировать и сравнивать между собой установленные с использованием различных методов значения коэффициентов устойчивости откосов и склонов.

Методика исследований. В ходе выполненных нами исследований была поставлена задача найти взаимосвязь между коэффициентами устойчивости вертикального грунтового откоса, рассчитанными с использованием известного метода В.В. Соколовского и вариационного метода [6,7].

Найдем коэффициент устойчивости k_y вертикального откоса высотой h (рис.1).

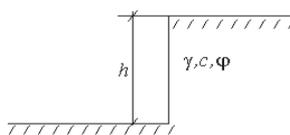


Рис. 1. К определению коэффициента устойчивости вертикального откоса
Согласно [6] он равен:

$$k_{y,1} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{h \cdot \gamma \cdot (1 - \sin \varphi)}, \quad (1)$$

где h – высота вертикального откоса; γ – удельный вес грунта; φ – угол внутреннего трения грунта; c – удельное сцепление грунта [6].

При этом, согласно [7], коэффициент устойчивости вертикального откоса с использованием вариационного метода равен:

$$\left. \begin{aligned} k_{y,2} &= \frac{8 \cdot c}{3 \cdot \gamma \cdot h} \cdot \frac{2 + \chi \cdot h + \sqrt{1 + \chi \cdot h}}{1 + \sqrt{1 + \chi \cdot h}}; \\ \chi &= \frac{\gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}{c}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Далее исследуем асимптотические значения (1) и (2).

Положив в (1) $c=0$ (этот случай соответствует откосу из абсолютно сыпучего грунта), найдем:

$$k_{y,1} = \lim_{c=0} \left[\frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{h \cdot \gamma \cdot (1 - \sin \varphi)} \right] = \frac{2 \cdot 0 \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot h \cdot (1 - \sin \varphi)} = 0 \quad (3)$$

Положив в (2) $c=0$ (этот случай также соответствует откосу из абсолютно сыпучего грунта), найдем:

$$\left. \begin{aligned} k_{y,2} &= \lim_{c=0} \left(\frac{8 \cdot c}{3 \cdot \gamma \cdot h} \cdot \frac{2 + \chi \cdot h + \sqrt{1 + \chi \cdot h}}{1 + \sqrt{1 + \chi \cdot h}} \right) = \frac{8 \cdot 0}{3 \cdot \gamma \cdot h} \cdot \frac{2 + \infty \cdot h + \sqrt{1 + \infty \cdot h}}{1 + \sqrt{1 + \infty \cdot h}} = 0; \\ \chi &= \lim_{c=0} \left(\frac{\gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}{c} \right) = \infty. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Таким образом, в данном случае имеет полное соответствие между полученными с использованием различных методов расчета результатами – при равном нулю удельном сцеплении коэффициент устойчивости вертикального откоса равен нулю.

Далее положим в (1) и (2) угол внутреннего трения φ равным нулю (этот случай соответствует случаю идеально связного грунта).

Из равенства (1) найдем:

$$k_{y,1} = \lim_{\varphi=0} \left[\frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{h \cdot \gamma \cdot (1 - \sin \varphi)} \right] = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot h} \quad (5)$$

Из равенства (2) найдем:

$$\left. \begin{aligned} k_{y,2} &= \lim_{\varphi=0} \left(\frac{8 \cdot c}{3 \cdot \gamma \cdot h} \cdot \frac{2 + \chi \cdot h + \sqrt{1 + \chi \cdot h}}{1 + \sqrt{1 + \chi \cdot h}} \right) = \\ &= \frac{8 \cdot c}{3 \cdot \gamma \cdot h} \cdot \frac{2 + 0 \cdot h + \sqrt{1 + 0 \cdot h}}{1 + \sqrt{1 + 0 \cdot h}} = \frac{4 \cdot c}{\gamma \cdot h}; \\ \chi &= \lim_{\varphi=0} \left(\frac{\gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi}{c} \right) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Таким образом, в данном случае установленный с использованием вариационного метода коэффициент устойчивости вертикального откоса отличается от аналогичного, установленного с использованием формулы В.В. Соколовского, в два раза.

Далее допустим, что при $\varphi=0$ с использованием вариационного метода было получено значение коэффициента устойчивости $k_y=1,5>1$. В этом случае откос является устойчивым.

При этом рассчитанное с использованием метода В.В. Соколовского значение коэффициента устойчивости в данном случае равно $k_y=0,75<1$. В этом случае откос является неустойчивым.

Таким образом, при интерпретации результатов расчета устойчивости имеет место явное противоречие, которое демонстрирует две абсолютно противоположные ситуации.

На его устранение и направлены дальнейшие исследования.

В ходе численного эксперимента нами для ряда значений высоты h , удельного веса грунта γ , углов внутреннего трения φ и удельного сцепления c нами были рассчитаны значения коэффициента устойчивости вертикального откоса.

Для удобства анализа нами путем введения безразмерного комплекса

$$\eta = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot h} \quad (7)$$

равенства (1) и (2) были приведены к виду:

$$k_{y,1} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{h \cdot \gamma \cdot (1 - \sin \varphi)} = \eta \cdot \frac{\cos \varphi}{(1 - \sin \varphi)} \quad (8)$$

и

$$k_{y,2} = \frac{8 \cdot c}{3 \cdot \gamma \cdot h} \cdot \frac{2 + \chi \cdot h + \sqrt{1 + \chi \cdot h}}{1 + \sqrt{1 + \chi \cdot h}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{2 \cdot \eta + 2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + \sqrt{\eta^2 + 2 \cdot \eta \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}}{1 + \sqrt{\eta^2 + 2 \cdot \eta \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}} \quad (9)$$

После этого по формуле:

$$k = \frac{k_1}{k_2} \quad (10)$$

определялся корректирующий коэффициент как функция безразмерного параметра η и угла внутреннего трения φ (рис. 2).

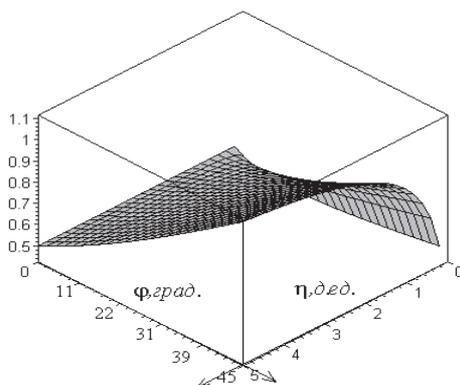


Рис. 2. Безразмерный коэффициент k

Результаты исследований. Из рисунка (2) вытекает, что безразмерный коэффициент k изменяется от 0,5 до 1,1 и является функцией угла внутреннего трения грунта φ , его удельных веса γ и сцепления c , а также высоты откоса h . При этом он может быть как меньше, так и больше единицы.

Для того, чтобы получить аналитическую зависимость корректирующего коэффициента k от перечисленных параметров, нами для ряда значений угла внутреннего трения φ были построены его зависимости от параметра η (рис. 3).

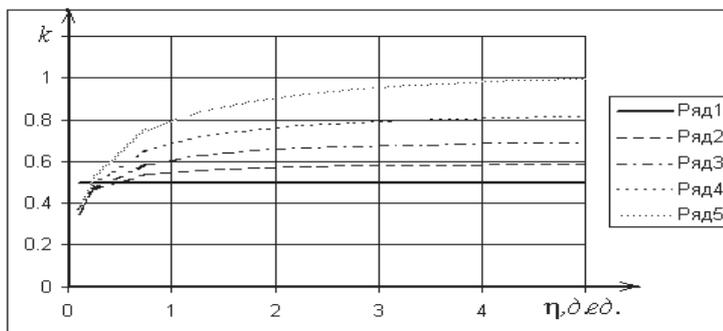


Рис. 3. Зависимости коэффициента k от параметра η . 1 – угол внутреннего трения $\varphi=0^{\circ}$; 2 – то же, $\varphi=10^{\circ}$; 3 – то же, $\varphi=20^{\circ}$; 4 – то же, $\varphi=30^{\circ}$; 5 – то же, $\varphi=40^{\circ}$.

Далее эти кривые были построены в системе координат « $\lg(k)-\lg(\eta)$ » и аппроксимированы алгебраическими полиномами второй степени (рис. 4).

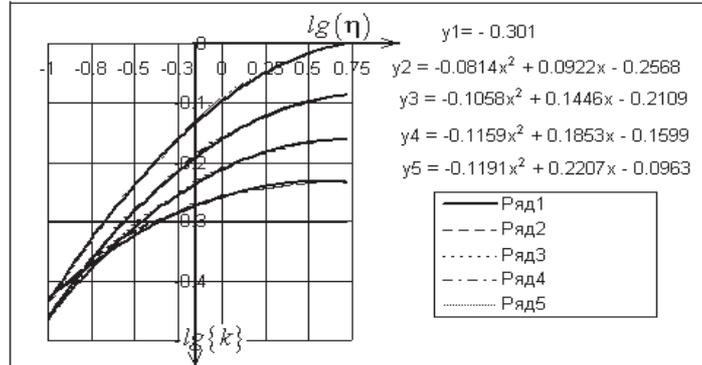


Рис. 4. Зависимости коэффициента k от параметра η . 1 – угол внутреннего трения $\varphi=0^\circ$; 2 – то же, $\varphi=10^\circ$; 3 – то же, $\varphi=20^\circ$; 4 – то же, $\varphi=30^\circ$; 5 – то же, $\varphi=40^\circ$. y_1, \dots, y_5 - аппроксимация кривых 1, ..., 5.

После этого в системе координат « $a_i - \varphi$ » - были построены зависимости коэффициентов полиномов y_1, \dots, y_5 a_i от угла внутреннего трения φ (рис. 5).

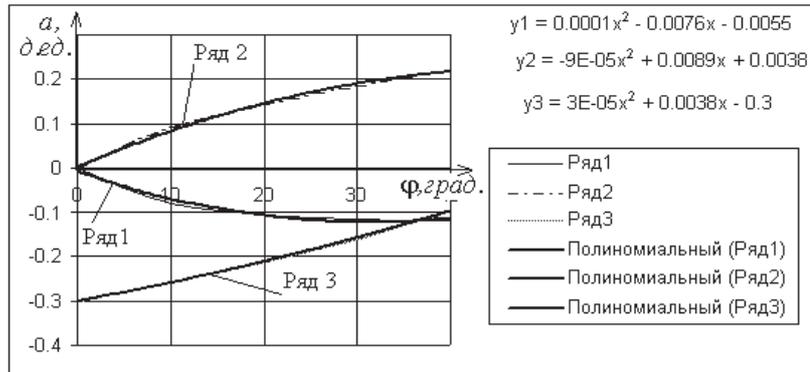


Рис. 5. Зависимости коэффициентов a_i от угла внутреннего трения φ . 1 – коэффициента при аргументе во второй степени; 2 – то же, при аргументе в первой степени; 3 – то же, при аргументе в нулевой степени.

Таким образом, значение корректирующего коэффициента k оказалось равным:

$$\left. \begin{aligned} k &= 10^{(a_1 \cdot \eta^2 + a_2 \cdot \eta + a_3)}; \quad \eta = \frac{2 \cdot c}{\gamma \cdot h}; \\ a_1 &= 0,0001 \cdot \varphi^2 - 0,0076 \cdot \varphi - 0,0055; \\ a_2 &= 9 \cdot 10^{-5} \cdot \varphi^2 + 0,0089 \cdot \varphi - 0,0038; \\ a_3 &= 3 \cdot 10^{-5} \cdot \varphi^2 + 0,0038 \cdot \varphi - 0,301. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Выводы. В ходе исследования был выполнен сравнительный анализ двух методов расчета вертикальных откосов и склонов. В результате были получены эмпирические аналитические зависимости (11) как функции угла внутреннего трения грунта, его удельных веса, сцепления и высоты откоса. Сделан главный вывод о том, что данные равенства позволяют привести в соответствие между собой значения коэффициентов устойчивости откосов и склонов, установленные с использованием метода В.В. Соколовского (k_1) и вариационного метода А.Г. Дорфмана (k_2), путем умножения последнего на корректирующий коэффициент k . Данный коэффициент следует определять по выведенной формуле (11).

1. Гинзбург Л.К. Противооползневые сооружения [Текст]. – Днепропетровск: ЧП "Лири ЛТД", 2007. – 188 с. 2. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): в 2 т./ под ред. Г.И. Рудько, В.А. Осюка. – Черновцы: Букрек, 2012. – Т.1. – 592. 3. Маркова М.А. Оценка оползневой опасности склонов из лессовых напластований / М.А. Маркова, В.І. Колобанов. 4. Оползни и сели [Текст] : Двухтомный труд / Гл.ред. Е.А. Козловский. – М. : Центр международных проектов ГКНТ, Отдел охраны окружающей среды ВИНТИ, 1984. – Т.1. 5. Швеи В.Б. Справочник по механике и динамике грунтов / В.Б. Швеи, Гинзбург Л.К., Гольдштейн В.М. и др. – К. : Будівельник, 1987. – 232 с. 6. Механика грунтов, основания и фундаменты [Текст] : Учебник / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский, З. Г. Тер-Мартиросян, С. Н. Чернышев. – М. : Высш. Шк., 2002. – 566 с. 7. Дорфман А.Г. Вариационный метод исследования устойчивости откосов / А.Г. Дорфман // Вопросы геотехники. Проблемы механики земляного полотна железных дорог: труды ДИИЖТ – М. : Издательство "Транспорт", 1965. – № 9. – С. 17-25.