

Е.С. Причина, аспирант

*И.Ю. Булич, магистр, м.н.с., В.Г. Шаповал, д.т.н., профессор
ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск*

А.В. Шаповал, к.т.н., доцент

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ НА РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСТОЙЧИВОСТИ

Исследованы закономерности изменения коэффициента устойчивости откосов и склонов при определении их напряженно-деформированного состояния методами теории упругости и отсеков. Показано, что определение напряженно-деформированного состояния методами теории упругости при прочих равных условиях приводит к завышению коэффициента устойчивости.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, грунтовый откос, коэффициент устойчивости, метод упругости, метод отсеков.*

К.С. Причина, аспирант

*І.Ю. Булич, магістр, м.н.с., В. Г. Шаповал, д.т.н., професор
ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ*

А.В. Шаповал, к.т.н., доцент

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

ВПЛИВ СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГРУНТОВИХ УКОСІВ І СХИЛІВ НА РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ЇХ КОЕФІЦІЄНТІВ СТІЙКОСТІ

Досліджено закономірності зміни коефіцієнта стійкості укосів та схилів при визначенні їх напружено-деформованого стану методами теорії пружності та відсіків. Показано, що визначення напружено-деформованого стану за допомогою методів теорії пружності за інших рівних умов призводить до завищення значення коефіцієнта стійкості.

Ключові слова: *напружено-деформований стан, грунтовий укіс, коефіцієнт стійкості, метод теорії пружності, метод відсіків.*

E.S. Prichina, post-graduate student

I.Y. Bulich., magister, V.G. Shapoval, Prof., DrSc.

State Institution of Higher Education «National Mining University», Dnipropetrovsk

A.V. Shapoval, Ph.D.

Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture

IMPACT OF THE DETERMINATION OF SOIL SLOPES STRESS-STRAIN STATE ON THE DESIGN VALUES OF THEIR STABILITY RATIOS

The change laws of slope stability ratios when determining their stress-strain state (SSS) using the theory of elasticity and stage methods are investigated. It is shown that the SSS determination using the theory of elasticity methods in equal terms leads to the stability ratio overvaluation.

Keywords: *stress-strain state, soil slope, stability ratio, theory of elasticity methods, stage methods.*

Введение. В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению частоты проявления экзогенных геологических процессов вследствие техногенного воздействия. Природные процессы геологической среды вместе с разработкой месторождений полезных ископаемых, массовой и масштабной застройкой земельных территорий приводят к активизации процессов оползнеобразования. С учетом катастрофических последствий оползней необходимым условием является обеспечение устойчивого состояния потенциально опасных склонов вблизи населенных пунктов путем постоянного мониторинга и выполнения наиболее точных расчетов и прогнозов устойчивости [1].

Таким образом, проблема достоверной оценки устойчивости откосов и склонов актуальна и требует своего решения. Для этого в настоящее время используются два основных подхода.

Первый из них базируется на допущении о том, что сползающий грунтовый массив может быть представлен в виде не связанных между собой отсеков, напряжения в которых обусловлены внешней вертикальной нагрузкой и их собственным весом [2, 3].

Второй подход основан на допущении о том, что напряженно-деформированное состояние сползающего массива может быть рассчитано с использованием механики сплошных сред (например, теории упругости, пластичности и т.д.) [3, 4].

НДС откосов и склонов, установленное с использованием различных моделей, существенно отличается. В этой связи представляет интерес ответ на вопрос, как сильно (и в какую сторону) отличаются значения коэффициента устойчивости, соответствующие различным методам определения НДС откосов и склонов.

Обзор последних источников исследований и публикаций. В настоящее время существует большое количество программ, в которых НДС основания определяют с использованием метода отсеков (ЛИРА СОФТ, SCAD Office) и методов механики сплошной среды (PLAXIS, Phase2). Указанные программные продукты позволяют просчитать устойчивость откоса, получив значения коэффициента устойчивости. Кроме того, последние два комплекса, в которых реализован метод механики сплошной среды, могут определить геометрическое место линии скольжения заданного откоса [5 – 7].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В литературных источниках вопрос о соотношении рассчитанных коэффициентов устойчивости с использованием указанных выше методов и программных продуктов остается неопределенным. Является неизвестной адекватность результатов расчетов относительно друг друга.

При написании настоящей статьи преследовалась **цель** выявить, насколько отличаются значения коэффициентов устойчивости грунтового массива при учете и неучете взаимодействия составляющих его блоков.

Основной материал и результаты. Исследования выполнялись в такой последовательности.

1. С использованием метода отсеков определялось НДС грунтового массива.

2. Определялось напряженно-деформированное состояние этого же массива с использованием методов теории упругости (рис. 1).

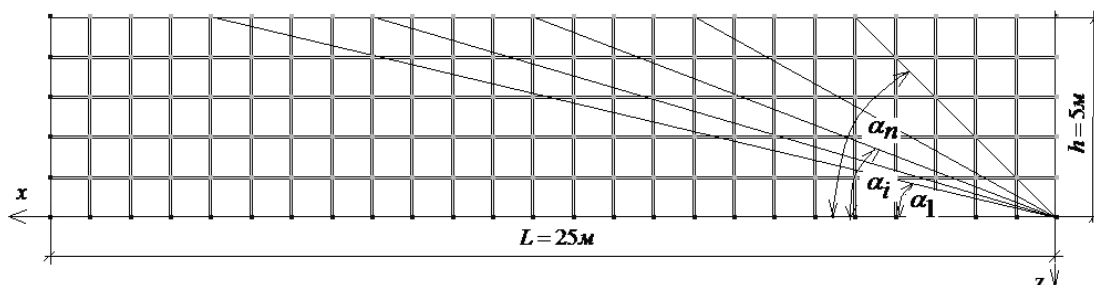


Рис. 1. Конечно-элементная аппроксимация вертикального откоса:
 $\alpha_1, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n$ – углы наклона плоскостей скольжения

3. Проводилось семейство прямолинейных поверхностей скольжения (рис. 1).

4. Действующие в основании напряжения раскладывались на параллельные плоскости скольжения (скатывающие) и нормальные (рис. 2).

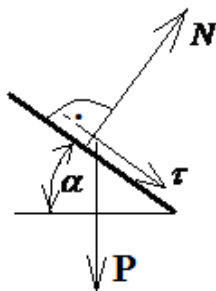


Рис. 2. К определению скатывающей τ и нормальной N сил

4.1. Для случая, когда НДС откоса определялось с использованием метода отсеков, скатывающая и нормальная силы рассчитывались по формулам:

$$\left. \begin{aligned} P &= \gamma \cdot z; \\ \tau_1 &= P \cdot \sin(\alpha); \\ N_1 &= P \cdot \cos(\alpha). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где P – вертикальное напряжение в расчетной точке; τ_1 – то же, касательное к поверхности скольжения; N_1 – то же, нормальное к поверхности скольжения; α – угол наклона поверхности скольжения к горизонту; γ – удельный вес грунта; z – расстояние от дневной поверхности основания до линии скольжения по вертикали.

4.2. Для случая, когда напряженно-деформированное состояние откоса определялось с использованием метода отсеков, скатывающая и нормальная силы рассчитывались по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \tau_2 &= \frac{(\sigma_x - \sigma_z)}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) + \tau_{xz} \cdot \cos(2 \cdot \alpha); \\ N_2 &= \frac{(\sigma_x + \sigma_z)}{2} - \frac{(\sigma_x - \sigma_z)}{2} \cdot \cos(2 \cdot \alpha) + \tau_{xz} \cdot \sin(2 \cdot \alpha). \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где τ_2 – вертикальное напряжение, касательное к поверхности скольжения; N_2 – то же, нормальное к поверхности скольжения; α – угол наклона поверхности скольжения к горизонту; σ_x – горизонтальное нормальное напряжение в расчетной точке; σ_z – то же, вертикальное; τ_{xz} – то же, касательное.

В формулах (1) и (2) нижние индексы «1» и «2» соответствуют методам определения НДС откоса.

5. После этого для ряда значений угла наклона поверхности скольжения сползающего грунтового массива к горизонту ($\alpha=13-45^\circ$), модуля деформации основания ($E=5-10$ МПа) и удельного веса грунта ($\gamma=15-20$ кН/м³) мы рассчитали зависимости нормальных и касательных напряжений. Полученные таким образом данные были аппроксимированы зависимостями вида:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= f_1(\chi) \cdot x + f_2(\chi); \\ \sigma_x &= f_3(\chi) \cdot x + f_4(\chi); \\ \tau_{xz} &= f_5(\chi) \cdot x + f_6(\chi); \\ f_1(\chi) &= 2,021 \cdot \chi - 0,075; \\ f_2(\chi) &= -1,41 \cdot \chi - 9,401; \\ f_3(\chi) &= 0,5756 \cdot \chi - 0,07; \\ f_4(\chi) &= 0,11 \cdot \chi - 2,023; \\ f_5(\chi) &= 0,3546 \cdot \chi - 0,0255; \\ f_6(\chi) &= -0,3379 \cdot \chi - 0,9538; \\ \chi &= \operatorname{tg}(\alpha). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

6. В обоих случаях удерживающая и сдвигающая силы определялись по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{сдв} &= \tau_1 \quad (\text{или } \tau_2); \\ \tau_{уд} &= \left\{ \begin{aligned} &N_1 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c; \\ &\text{или} \\ &N_2 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + c. \end{aligned} \right\}. \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где c – удельное сцепление; φ – угол внутреннего трения грунта.

7. Коэффициенты устойчивости грунтового откоса определялись по формулам

$$\left. \begin{aligned}
 k_{y,1} &= \frac{\int_0^L \tau_{y\partial,1} \cdot ds}{\int_0^L \tau_{c\partial\partial,1} \cdot ds}; \\
 k_{y,2} &= \frac{\int_0^L \tau_{y\partial,2} \cdot ds}{\int_0^L \tau_{c\partial\partial,2} \cdot ds};
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $k_{y,1}$ и $k_{y,2}$ – расчетные значения коэффициентов устойчивости;
 $ds \frac{dx}{\cos(\alpha)}$ – элементарная длина поверхности скольжения, а L – ее длина.

С использованием формул (5) для ряда значений угла внутреннего трения и удельного сцепления мы построили зависимости коэффициента устойчивости от угла наклона поверхности скольжения к горизонту (рис. 3 – 5).

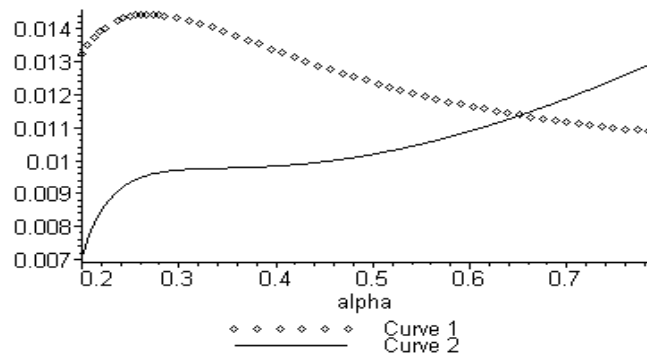


Рис. 3. Зависимости коэффициента устойчивости откоса от угла α : кривая 1 – НДС откоса определялось методом отсеков; кривая 2 – то же, с использованием теории упругости, $c=1$ кПа; $\varphi=1^\circ$

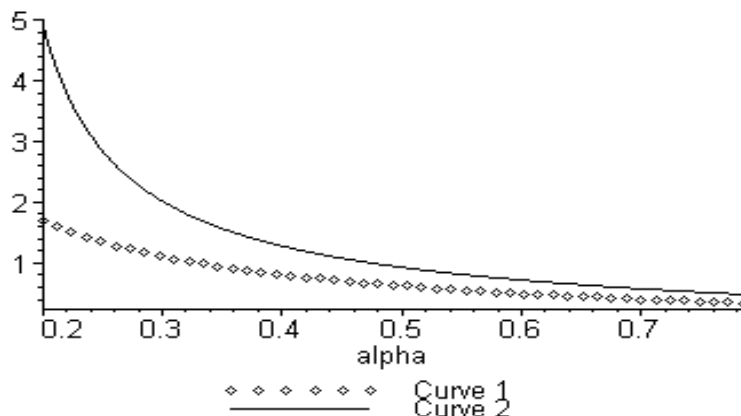


Рис. 4. Зависимости коэффициента устойчивости откоса от угла α : кривая 1 – НДС откоса определялось методом отсеков; кривая 2 – то же, с использованием теории упругости, $c=1$ кПа; $\varphi=20^\circ$

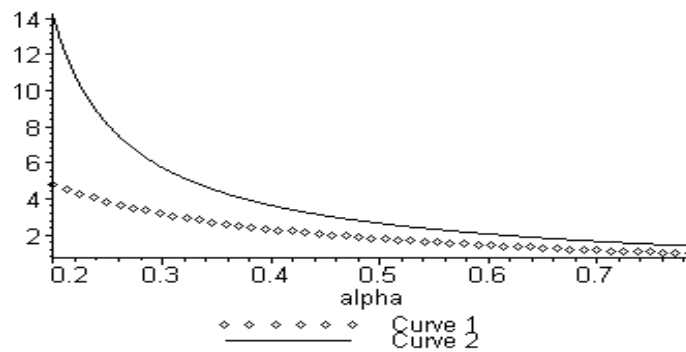
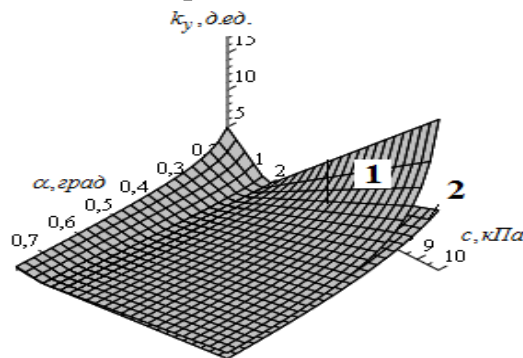


Рис. 5. Зависимости коэффициента устойчивости откоса от угла α : кривая 1 – НДС откоса определялось методом отсеков; кривая 2 – то же, с использованием теории упругости, $c=1$ кПа; $\varphi=45^\circ$

После этого были построены такие трехмерные зависимости коэффициента устойчивости (рис. 6 и 7):

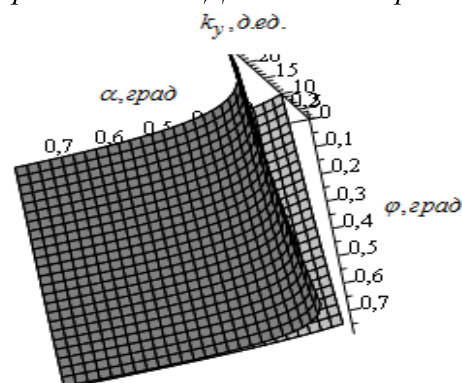
– от угла наклона к поверхности скольжения к горизонту α и удельного сцепления c ;

– от угла наклона к поверхности скольжения к горизонту α и угла



внутреннего трения φ .

Рис. 6. Зависимости коэффициента устойчивости откоса от угла α и удельного сцепления c при $\varphi=20^\circ$: поверхность 1 – НДС откоса определялось методом отсеков;



кривая 2 – то же, с использованием теории упругости

Рис. 7. Зависимости коэффициента устойчивости откоса от угла α и угла внутреннего трения φ при $c=10$ кПа: поверхность 1 – НДС откоса определялось методом отсеков; кривая 2 – то же, с использованием теории упругости

Выводы. Изложенные в настоящей статье материалы исследований позволили нам сделать следующие выводы.

1. При расчете устойчивости грунтовых откосов важное значение имеет способ определения их НДС.

2. При определении НДС основания методами теории упругости значения коэффициентов устойчивости откосов и склонов имеют завышенные значения по сравнению с определением НДС методом отсеков.

3. Чем меньше угол наклона поверхности скольжения к горизонту, тем большее влияние способ определения НДС основания оказывает на результаты вычисления коэффициента устойчивости K_y .

В целом, был сделан вывод о том, что если НДС основания определяется методами теории упругости, то имеет место завышение значений коэффициентов устойчивости откосов и склонов.

Литература

1. *Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): в 2-х т / под ред. Г.И. Рудько, В.А. Осюка. – Черновцы: Букрек, 2012. – Т.1. – 592 с.*
2. *Швец, В.Б. Справочник по механике и динамике грунтов / В.Б. Швец, Л.К. Гинзбург, В.М. Гольдштейн и др. – К.: Будівельник, 1987. – 232 с.*
3. *Механика грунтов, основания и фундаменты [Текст] : учебник / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С. Н. Чернышев. – М.: Высш. шк., 2002. – 566 с.*
4. *Шашенко, А.Н. Механика горных пород: учебник для вузов / А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко. – К.: Новий друк, 2003. – 400 с.*
5. *Вычислительный комплекс SCAD / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, А.В. Перельмутер. – М.: СКАД СОФТ, 2009. – 609 с.*
6. *Моделювання та прогноз зсувонебезпечних ситуацій в урочищі Тонельна балка м. Дніпропетровська / О.С. Ковров // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання: III Міжнар. научн.-техн. конф. // М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т; – 2013. – С. 42 – 50.*
7. *Усаченко, Б.М. Об устойчивости откоса правобережной плотины Днепродзержинской ГЭС / Б.М. Усаченко, А.Н. Шашенко, А.С. Ковров // Науковий вісник Національного гірничого університету . –2010. – № 11-12. – С. 82 – 88.*

Надійшла до редакції 01.10.2013

© К.С. Причина, І.Ю. Буліч, В. Г. Шаповал, А.В. Шаповал