

*А.Н. Богомолов, д.т.н., професор, С.А. Калиновский, аспирант
О.А. Богомолова, к.т.н., доцент, Б.С. Бабаханов, соискатель
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ОДНОРОДНОГО НЕНАГРУЖЕННОГО ОТКОСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО МАССИВА

На основе результатов анализа напряженно-деформированного состояния однородных откосов различного заложения получены графические зависимости величины коэффициента запаса устойчивости от численных значений физико-механических свойств грунта, слагающего откос, включая коэффициент бокового давления. Аналитическая аппроксимация полученных зависимостей дала возможность записать формулу и построить графики для определения входящих в нее коэффициентов, которые позволяют определять степень устойчивости откосов в зависимости от величины коэффициента бокового давления грунта.

Ключевые слова: *коэффициент запаса устойчивости, коэффициент бокового давления грунта; физико-механические свойства грунта; метод конечных элементов.*

*А.Н. Богомолов, д.т.н., професор, С.А. Калиновський, аспірант
О.А. Богомолова, к.т.н., доцент, Б.С. Бабаханов, претендент
Волгоградський державний архітектурно-будівельний університет*

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ ОДНОРІДНОГО НЕЗАВАНТАЖЕНОГО ВІДКОСУ ЗАЛЕЖНО ВІД ВЕЛИЧИНИ КОЕФІЦІЄНТА БОКОВОГО ТИСКУ ГРУНТОВОГО МАСИВУ

На основі результатів аналізу напружено-деформованого стану однорідних відкосів різного закладення отримано графічні залежності величини коефіцієнта запаса стійкості від чисельних значень фізико-механічних властивостей ґрунту, що складає відкос, включаючи коефіцієнт бокового тиску. Аналітична апроксимація отриманих залежностей дала можливість записати формулу і побудувати графіки для визначення коефіцієнтів, які дозволяють визначати ступінь стійкості відкосів залежно від величини коефіцієнта бокового тиску ґрунту.

Ключові слова: *коефіцієнт запаса стійкості, коефіцієнт бокового тиску ґрунту, фізико-механічні властивості ґрунту, метод скінченних елементів.*

*A.N. Bogomolov, Prof., DrSc., S.A. Kalinovsky, post-graduate student
O.A. Bogomolova, Reader, Dr-Ing., B.S. Babahanov, aspirant
Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering*

DETERMINATION OF THE SAFETY FACTOR OF SLOPES HOMOGENEOUS UNLOADED DEPENDING ON THE COEFFICIENT OF LATERAL PRESSURE SOIL MASSES

Based on the analysis of the stress-strain state of homogeneous slopes of different foundation, a graphical dependence of the safety factor of the numerical values of the physical and mechanical soil properties, making up the slope, including the coefficient of lateral pressure. Analytical approximation of the dependences obtained gave the opportunity

to write the formula and plot to determine its constituent factors, which allow to determine the degree of slope stability based on the coefficient of lateral earth pressure.

Keywords: stability factor, coefficient of lateral earth pressure, physical and mechanical soil properties, finite elements methods.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими заданиями. Коэффициент бокового давления грунта является одним из важнейших параметров, определяющих напряженно-деформированное состояние грунтового массива.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение проблемы. Существует множество экспериментальных и теоретических методов его отыскания, некоторые из которых рассмотрены в работах [1, 2]. Из приведенных здесь данных следует, что величина коэффициента бокового давления для различных видов грунтов принимает значения в интервале $\xi_0 \in [0,2 - 1]$, а при наличии сжимающих тектонических сил величина ξ_0 может принимать значения гораздо больше 1. Тем не менее, подавляющее большинство методов расчета устойчивости грунтовых массивов и, в частности грунтовых откосов, основанные на гипотезах об определенной форме поверхности скольжения и методе отсеков, не принимают во внимание это обстоятельство и попросту игнорируют параметр ξ_0 .

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. Одним из первых, кто обратил внимание на это обстоятельство, был профессор В.К. Цветков, который предложил метод расчета устойчивости грунтовых откосов, основанный на анализе напряженно-деформированного состояния грунтового массива [3, 4].

Целью данной работы является определение зависимости величины коэффициента запаса устойчивости однородного грунтового откоса K от величины коэффициента бокового давления грунтового массива ξ_0 .

Изложение основного материала исследований. Для достижения поставленной цели использована компьютерная программа [5], разработанная в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете, в которой для анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива формализован метод конечных элементов (МКЭ), а для построения наиболее опасной поверхности скольжения – метод В.К. Цветкова [3, 4] (для случая, когда в грунтовом массиве отсутствуют области пластических деформаций (ОПД)), и метод А.Н. Богомолова [6] (в случае наличия ОПД).

Особенностью этой компьютерной программы является то, что граничные условия, накладываемые на расчетную схему МКЭ, отрабатываются на основе аналитического решения первой основной граничной задачи теории упругости для односвязной области с криволинейной границей, приведенного в работах [5].

Переменными параметрами при проведении вычислений являются физико-механические свойства грунта: объемный вес γ , угол внутреннего трения φ , удельное сцепление C и высота откоса H , которые определяют приведенное давление связности $\sigma_{св} = C(\gamma H \tan \varphi) - 1$ и коэффициент бокового давления ξ_0 .

При расчетах угол откоса принимал значения $\beta = 25^\circ; 35^\circ; 45^\circ; 60^\circ$; угол внутреннего трения грунта – $\varphi = 20^\circ; 25^\circ; 30^\circ; 35^\circ$, а удельное сцепление C и высота откоса H изменялись таким образом, что величина приведенного давления связности принимала значения $\sigma_{св} = 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0$. Вычисление величины K проведено при пяти значениях коэффициента бокового давления грунта $\xi_0 = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,95$.

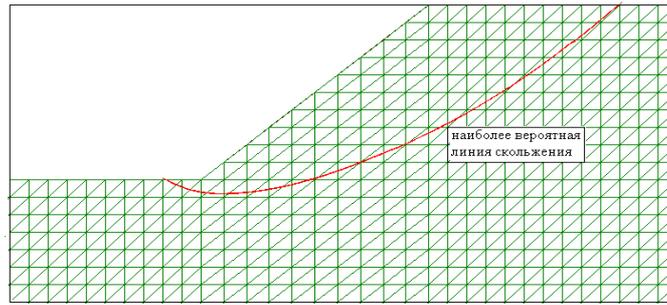


Рисунок 1 – Фрагмент расчетной схемы МКЭ

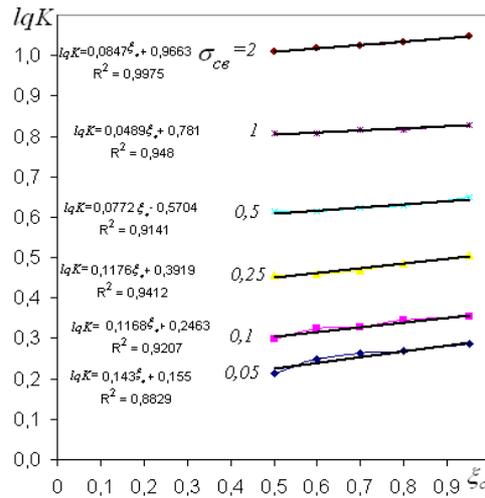


Рисунок 2 – Графики зависимостей вида $lqK=f(\xi_0)$, при $\beta=25^\circ$ и $\varphi=25^\circ$

Используя полученные аналитические аппроксимации зависимостей вида $lqK=f(\xi_0)$, построены графики для определения коэффициентов а и b, входящих в формулу (1). Оказалось, что коэффициенты а практически не зависят от величины угла заложения откоса β и весьма не значительно зависят от угла внутреннего трения грунта φ (рис. 3, а). Поэтому с достаточной для практики степенью точности они могут определяться только в зависимости от величины приведенного давления связности $\sigma_{св}$ (рис. 3, б).

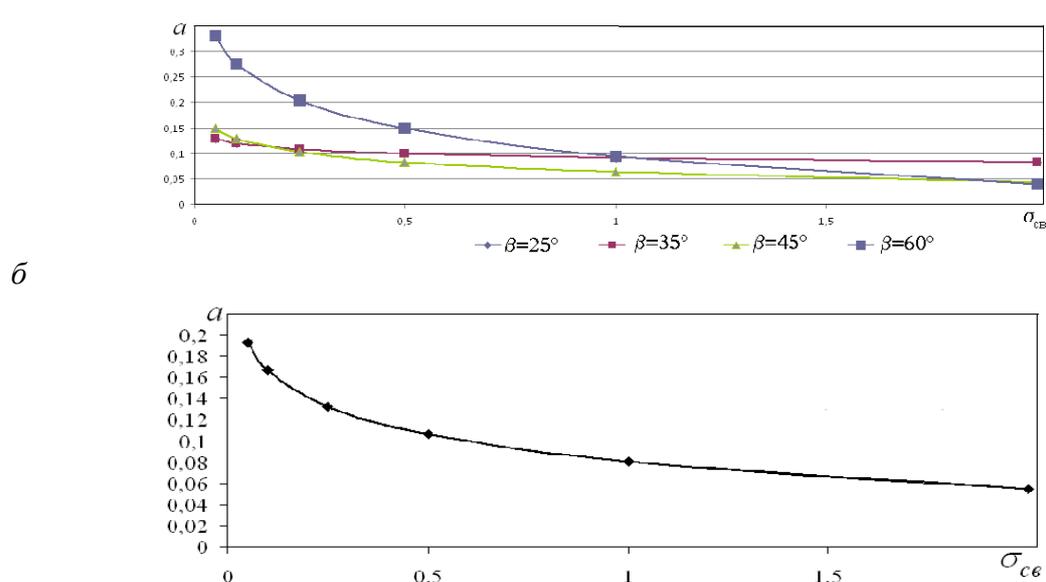


Рисунок 3 – График для определения коэффициента а: а – в зависимости от угла откоса β ; б – рекомендуемый к использованию (усредненные значения)

Расчетная схема МКЭ во всех вариантах имела линейные размеры 13Н× 6Н, включала в себя 16900 элементов, сопряженных в 8646 узлах, при этом матрица жесткости системы равна 146 (рис. 1).

Оказалось, что для всех без исключения возможных сочетаний значений переменных расчетных параметров зависимость вида $lqK=f(\xi_0)$ описывается уравнением прямой линии

$$lqK = a\xi_0 + b, \quad (1)$$

где a и b – безразмерные коэффициенты.

Коэффициенты b рекомендуется определять по графикам, приведенным на рисунке 4, используя метод линейной интерполяции.

Для проверки правомерности усреднения значений коэффициента a проведено сопоставление величин коэффициентов запаса устойчивости откосов, полученных с использованием предлагаемых формулы и графиков и при помощи компьютерной программы [5].

В частности расчеты, выполненные для двух откосов: первый – с углом заложения $\beta=40^\circ$ и физико-механическими свойствами $\varphi=27,5^\circ$; $\sigma_{св}=1,25$ и второй – $\beta=50^\circ$; $\varphi=22,5^\circ$ и $\sigma_{св}=0,15$ показали, что числовые значения соответствующих коэффициентов запаса устойчивости при значениях коэффициента бокового давления грунта, равных $\xi_0=0,4$; $0,6$; $0,75$, полученные при помощи компьютера и предлагаемых графиков и формулы, отличаются друг от друга на $4,60 - 7,96\%$.

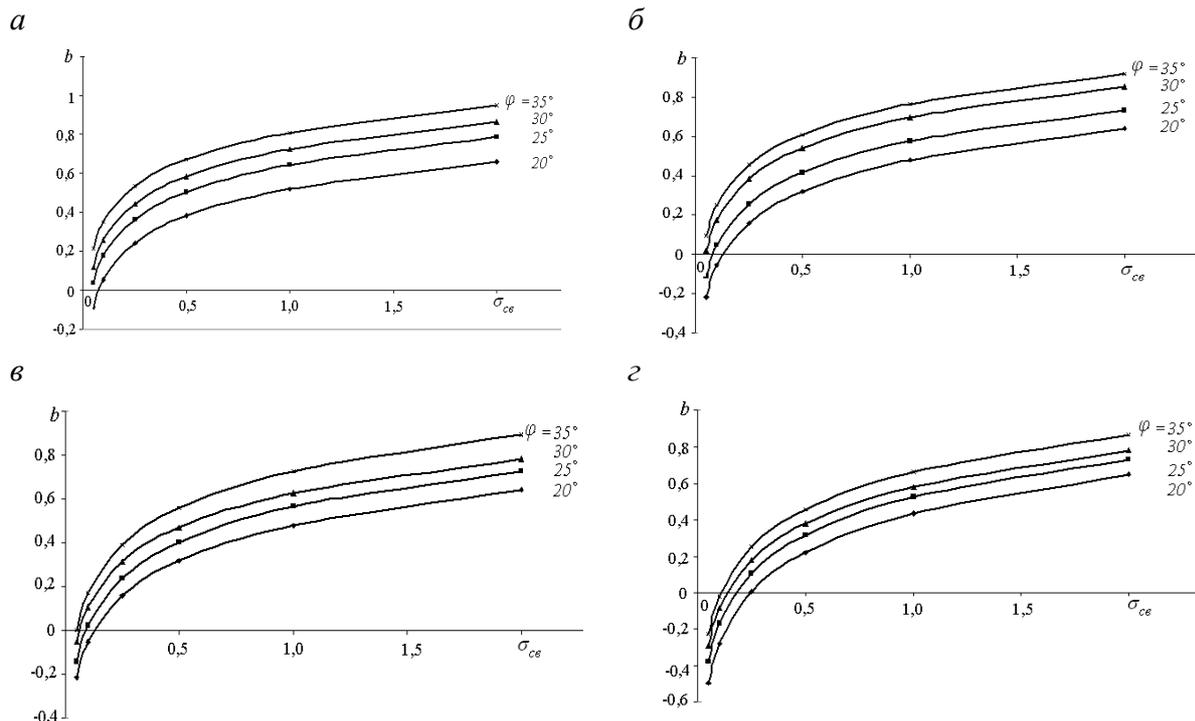


Рисунок 4 – Графики для определения коэффициентов b при:
 $a - \beta=25^\circ$; $б - \beta=35^\circ$; $в - \beta=45^\circ$; $з - \beta=60^\circ$

Выводы. Величина коэффициента запаса устойчивости ненагруженного однородного откоса K возрастает при всех остальных равных условиях при увеличении численного значения коэффициента бокового давления грунта ξ_0 от 0,5 до 0,95.

1. Предлагаемые формула и графики позволяют с достаточной для инженерной практики степенью точности определять численные значения коэффициентов запаса устойчивости однородных ненагруженных откосов в зависимости от величины коэффициента бокового давления грунта.

Литература

1. Анализ методов определения коэффициентов бокового давления грунта (экспериментальные методы) / [А.Н. Богомолов и др.] // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства: материалы III Международ. науч.-техн. конф. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. – С. 33–58.
2. Анализ методов определения коэффициентов бокового давления грунта (аналитические методы) / [А.Н. Богомолов и др.] // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства: материалы III Международ. науч.-техн. конф. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. – С. 58–85.
3. Цветков, В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов / В.К.Цветков. – Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд., 1979. – 238 с.
4. Цветков, В.К. Расчет рациональных параметров горных выработок / В.К. Цветков. – М.: Недра, 1993. – 251 с.
5. Устойчивость (напряженно-деформированное состояние) / [А.Н. Богомолов и др.] // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613499 от 30 июня 2009 г.
6. Богомолов, А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке / А.Н. Богомолов. – Пермь: ПГТУ, 1996. – 150 с.

Надійшла до редакції 17.09.2012

© А.Н. Богомолов, С.А. Калиновский, О.А. Богомолова, Б.С. Бабаханов