



ШАПОВАЛ ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ

Доктор технических наук, профессор кафедры строительства, геотехники и геомеханики ДВНЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровськ, член Украинского, Российского и Международного общества по механике грунтов, фундаментостроению и геотехнике.

Основные направления научной деятельности: реология и нелинейная механика грунтов.

Автор более 100 научных работ.

E-mail: shap-ww@mail.ru



ШАПОВАЛ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник комплексной лабораторией "Обеспечения надежности зданий и сооружений" о отделения НИИСК

Основные направления научной деятельности: численное моделирование совместной работы системы «основания - фундаменты - здания».

Автор более 30 научных работ.

E-mail: niisk@mail.ru



ПРИЧИНА ЕКАТЕРИНА СЕРГЕЕВНА

Аспирантка кафедры строительства, геотехники и геомеханики ДВНЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровськ.

Основные направления научной деятельности: исследования процессов оползней, стойкость грунтовых склонов в условиях плотной городской застройки при измененном уровне грунтовых вод; противоползневая защита территорий.

Автор более 10 научных работ.

E-mail: katernyna.prychyna@gmail.com

УДК 624.13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ В РАМКАХ ГИПОТЕЗЫ О ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ В ВИДЕ СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ

Ключевые слова: склон, коэффициент устойчивости, линия скольжения, степенная функция.

У роботі викладено метод визначення коефіцієнта стійкості укосів і схилів в рамках гіпотези про поверхневе ковзання у вигляді статечної функції. Такий підхід окрім значення коефіцієнта стійкості дозволяє виявити механізм обвалення (тобто або за рахунок вертикального або горизонтального зсуву, або за рахунок повороту).

В работе изложен метод определения коэффициента устойчивости откосов и склонов в рамках гипотезы о поверхности скольжения в виде степенной функции. Такой подход помимо значения коэффициента устойчивости позволяет выявить механизм обрушения (т.е. либо за счет вертикального или горизонтального сдвига, либо за счет поворота).

In the paper a method of determining the coefficient of stability of slopes in the hypothesis of the sliding surface in the form of a power function. This approach besides stability coefficient values reveals collapse mechanism (i.e., either by vertical or horizontal position, or due to rotation).

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами.

Проблема адекватного определения коэффициента устойчивости откосов и склонов весьма актуальна. Это обусловлено тем, что имеет место значительное количество аварий, которые происходят как в развивающихся, так и развитых странах [1, 2, 3].

Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы.

В настоящее время при определении коэффициента устойчивости откосов и склонов используется такой подход:

1. Задаются формой поверхности скольжения таким образом, чтобы разрушение грунта происходило так, что используется только одно из трех уравнений статики (например, в случае гипотезы о кругло цилиндрической поверхности скольжения это сумма моментов, при прямолинейной поверхности скольжения – сумма проекций на линию скольжения сдвигающих и удерживающих сил и т.д.)
2. Определяют сдвигающие и удерживающие силы (моменты).
3. Находят их суммы.
4. Коэффициент устойчивости откоса определяют как отношение суммы удерживающих сил к сумме сдвигающих [4, 5, 6].

Против такого подхода можно выдвинуть такие возражения:

1. При определении коэффициента устойчивости не всегда удается заранее предсказать, какими из уравнений статики следует пренебречь.
2. Как правило, при обрушении реальных откосов и склонов одновременно имеют место вертикальное и горизонтальное перемещения сползающего грунта, а также поворот сползающего массива.
3. При использовании для определения устойчивости откосов и склонов классического метода кругло цилиндрической поверхности имеет место ряд ограничений, обусловленных тем, что в декартовой системе координат уравнение окружности является многозначной функцией [7, 8].
4. Если уравнение поверхности скольжения неизвестно заранее, то использование гипотезы о ломаной поверхности скольжения сопряжено с большими вычислительными проблемами и практическими неосуществимо для решения конкретных задач.

При написании настоящей статьи преследовалась цель обосновать методику определения коэффициента устойчивости откосов (склонов), которая базируется на

гипотезе о поверхности скольжения в виде степенной функции.

Постановка задачи исследований.

Задача исследований была сформулирована так.

1. Известно инженерно – геологическое строение слагающего грунтовой откос основания.
2. Известны свойства слагающих основание грунтовых слоев.
3. Уравнение кривой скольжения откоса (склона) имеет вид степенной функции (1).
4. Необходимо:
 - 4.1. Определить коэффициент устойчивости откоса (склона) для проекции сдвигающих удерживающих сил на горизонтальную координатную ось.
 - 4.2. Определить коэффициент устойчивости откоса (склона) для проекции сдвигающих удерживающих сил на вертикальную координатную ось.
 - 4.3. Определить коэффициент устойчивости откоса (склона) для сумм сдвигающих удерживающих моментов.
 - 4.4. На этой основе выявить минимальное значение коэффициента устойчивости и соответствующий ему механизм разрушения откоса (склона).

Изложение основного материала исследования.

Рассмотрим грунтовой откос (рис. 1), обрушение которого происходит по кривой скольжения, которая подчиняется зависимости вида:

$$y(x) = H \cdot \left(\frac{x - x_0}{L} \right)^\delta, \quad (1)$$

где: $y(x)$ - уравнение поверхности скольжения; x - координата; x_0 - координата начальной точки кривой скольжения; H - высота откоса по вертикали; L - его длина в горизонтальном направлении; δ - показатель степени.

Далее рассмотрим возможные варианты линий скольжения в зависимости от значения показателя степени δ (рис. 2).

Для этого приведем формулу (1) к безразмерному виду, положив в ней

$$y^* = y(x)/H; \quad x^* = \frac{x - x_0}{L}, \quad (2)$$

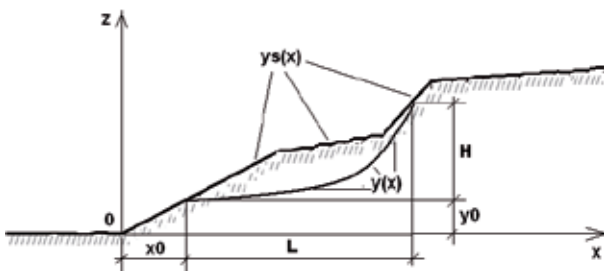


Рис.1. Расположение поверхности скольжения.
 $y(x)$ - поверхность скольжения; $y_s(x)$ - дневная поверхность

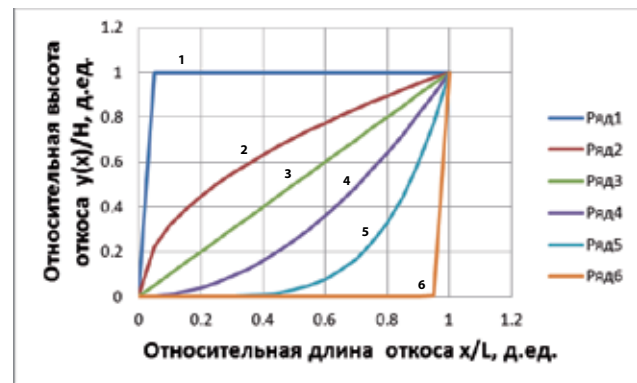


Рис.2. Поверхности скольжения грунтового откоса при различных значениях показателя степени δ . 1 ряд – показатель степени $\delta=0,001$; 2 ряд – то же, $\delta=0,5$; 3 ряд – то же, $\delta=1,0$; 4 ряд – то же, $\delta=2,0$; 5 ряд – то же, $\delta=5,0$; 6 ряд – то же, $\delta=100,0$.

где $x^* \in (0,1)$ и $x^* \in (0,1)$.

Представленные на рисунке кривые позволили нам сделать такие выводы:

1. При показателе степени $\delta \ll 1$ зависимость уравнения поверхности скольжения от координаты имеет вид практически вертикальной линии, проходящей вблизи начальной точки поверхности скольжения.
2. При показателе степени $\delta \gg 1$ зависимость уравнения поверхности скольжения от координаты имеет вид практически вертикальной линии, проходящей вблизи конечной точки поверхности скольжения.
3. При показателе степени $\delta < 1$ зависимость уравнения поверхности скольжения от координаты имеет вид выпуклой кривой (такой вид поверхностей скольжения встречается в работах В.В. Соколовского [9]).
4. При показателе степени $\delta > 1$ зависимость уравнения поверхности скольжения от координаты имеет вид вогнутой линии (такой вид имеют поверхности скольжения в виде дуги окружности [6]).
5. При показателе степени $\delta = 1$ зависимость уравнения поверхности скольжения от координаты имеет вид прямой линии (такой вид имеет прямолинейная поверхность скольжения [6]).
6. Поверхность скольжения не может пересечь ось абсцисс, хотя в рядом авторов рассматриваются подобные случаи [10].

В целом был сделан вывод о том, что, несмотря на недостатки (п.6), форма записи уравнения кривой скольжения в виде (1) позволяет описать практически все встречающиеся в инженерной практике формы поверхностей скольжения, возникающих при потере откосами и склонами их устойчивости

Предлагаемый нами алгоритм определения коэффициента устойчивости заключается в следующем.

1. Область основания между дневной поверхностью и кривой скольжения (рис. 3) следует разбить на ряд отсеков так, как это делают при определении устойчивости с использованием метода Петерсона [4, 6].
2. Дуги в основании каждого из отсеков следует заметить хордами.
3. Вес каждого из отсеков следует разложить на параллельную поверхности скольжения и перпендикулярную ей составляющие.
4. После этого с использованием формул:

$$P_i = P_{q,i} + P_{g,i}; \quad P_{q,i} = b_i \cdot q_i; \quad P_{g,i} = \bar{\gamma} \cdot b_i \cdot \frac{h_{i-1} + h_i}{2} \quad (3)$$

следует определить действующие в пределах каждого из отсеков вертикальные силы. Здесь P_i - действующая в пределах i -того отсека вертикальная сила; $P_{q,i}$ - то же, обусловленная внешней нагрузкой; $P_{g,i}$ - то же, обусловленная весом отсека; b_i - ширина отсека; $(h_{i-1} + h_i)/2$ - его средняя высота; $\bar{\gamma}$ - средний вес грунта в пределах отсека.

5. Далее следует найти нормальные к подошве i -того элемента N_i и параллельные подошве i -того элемента T_i (сдвигающие) силы:

$$N_i = P_i \cdot \cos \alpha_i; \quad T_i = P_i \cdot \sin \alpha_i, \quad (4)$$

где α_i - угол наклона i -той хорды к горизонту (рис. 3).

6. Для определения удерживающих T_i сил следует использовать формулу:

$$T'_i = P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i = P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i}. \quad (5)$$

7. Для определения коэффициента устойчивости откоса (склона) в предположении о том, что его обрушение происходит вследствие несоблюдения уравнения равновесия по оси Ox , имеем:

$$k_x^y = \frac{\sum_{i=1}^n T'_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n T_i \cos \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \right) \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot \sin \alpha_i) \cdot \cos \alpha_i}. \quad (6)$$

8. Для определения коэффициента устойчивости откоса (склона) в предположении о том, что его обрушение происходит вследствие несоблюдения уравнения равновесия по оси Oy , имеем:

$$k_y^y = \frac{\sum_{i=1}^n T'_i \cdot \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^n T_i \sin \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \right) \cdot \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot \sin \alpha_i) \cdot \sin \alpha_i}. \quad (7)$$

9. Для определения коэффициента устойчивости откоса (склона) в предположении о том, что его обрушение происходит вследствие несоблюдения условия равенства удерживающего и опрокидывающего моментов имеем:

$$k_M^y = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot T'_i \cdot \sin \alpha_i + y_i \cdot T'_i \cdot \cos \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot T_i \cdot \sin \alpha_i + y_i \cdot T_i \cdot \cos \alpha_i)}. \quad (8)$$

где x_i - расстояние от начальной точки откоса до центра хорды i -того отсека по оси OX ; y_i - то же,

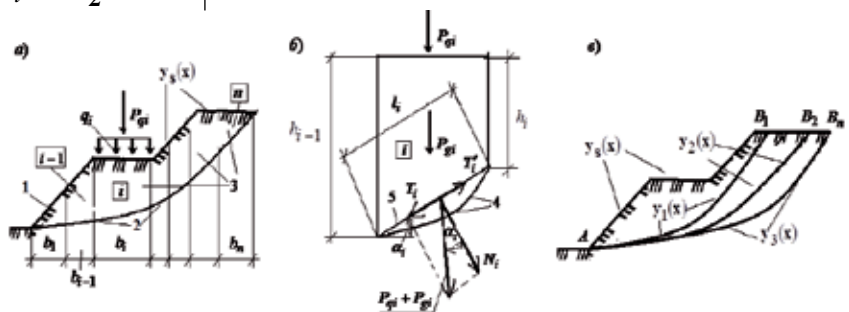


Рис.3. К определению коэффициента устойчивости в рамках гипотезы о степенной поверхности скольжения. а) - схема разбивки сползающего массива на отсеки; б) - усилия, действующие в пределах одного отсека; в) - последовательность определения минимального значения коэффициента устойчивости. 1 - дневная поверхность; 2 - линия скольжения; 3 - отсеки; 4 - дуга линии скольжения в пределах i -того грунтового отсека; 5 - хорда.

по оси ОУ.

10. Для определения минимального значения коэффициентов устойчивости следует использовать представленную на рис. 3-в схему.

При этом следует варьировать такие факторы: показатель степени δ ; начальную точку откоса по оси ординат x_0 ; конечную точку откоса по оси абсцисс $x_0 + L$.

В целом, изложенные в настоящей статье материалы исследований позволили сделать вывод о том, что пред-

ставление линии скольжения грунтового склона в виде степенной функции позволяет в рамках одного вида расчета просчитать любую форму линии скольжения путем варьирования показателя степени, а также, в отличие от известных методов, не только определить значение коэффициента устойчивости, но и выявить сам механизм обрушения склона (т.е. либо за счет вертикального или горизонтального сдвига, либо за счет поворота).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самые катастрофические оползни 20-21 века: [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://mostinfo.su/79-samyie-bolshie-opolzni.html>
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 с.
3. Маркова М.А. Оценка оползневой опасности склонов из лессовых напластований / М.А. Маркова, В.И. 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.
4. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции. – М.: Стройиздат, 1979. – 80 с.
5. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. – Ростов на Дону, 1989 - 608 с.
6. Швец В.Б., Гинзбург Л.К., Гольдштейн В.М. и др.: Справочник по механике и динамике грунтов: - К.: Будівельник, 1987. – 232 с.
7. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1974. – 840 с.
8. Шаповал А.В. «Оптимизация алгоритма расчета устойчивости откосов и склонов». Магистерская работа. Днепропетровск. ПГАСА 120 с.
9. Флорин В.А. Основы механики грунтов, т.1. - Л. -М.: Госстройиздат, 1959. - 357 с.
10. Дорфман, А. Г. Исследование устойчивости склона / А. Г. Дорфман, А. Я. Туровская // Вопр. геотехники. — Днепропетровск, 1975. — № 24 — С. 132—156.

ABSTRACT

Saharov V.O. The study of seismic response of multistory buildings including nonlinear deformation environments //The world of geotechnik.- 2014.- №4.- P.4-8.

In this article, based on experimental laboratory researches, substantiates trueThe paper presents the results of the simulated interaction of the high-rise building with a soil base, taking into account nonlinear soil deformation under seismic loads. It also describes the underlying principles and criterias used to develop mathematical model of the base that takes into account visco-elastic-plastic properties and dynamic behavior of the soil. Relations necessary for the implementation of the reinforced concrete structure model have been also provided. 3D modeling has been carried out using explicit finite element method with the help of an automated system of the scientific research (ASSR) "VESNA-DYN".

Litvinenco A.S. How to objectively determine the value of the upper limit of plasticity cohesive soil in modern construction soil? (part one) //The world of geotechnik.- 2014.- №4.- P.9-13.

In this article, based on experimental laboratory researches, substantiates true physical nature of the upper plasticity limit of cohesive soils on the basis of their own natural properties.

Litvinenco A.S. How to objectively determine the value of the upper limit of plasticity cohesive soil in modern construction soil? (part two) //The world of geotechnik.- 2014.- №4.- P.14-18.

In this article, based on experimental laboratory researches, substantiates true physical nature of the upper plasticity limit of cohesive soils on the basis of their own natural properties.

Agafonov O.N. Engineering and geodetic survey as an integral part of the engineering survey for construction //The world of geotechnik.-

2014.- №4.- P.19-21.

The article deals with the use of scientific-technical support, whose main objective is to support at all stages of construction, special and unique construction objects with distinct from the regular properties and parameters and environmental conditions.

Sapoval V.G., Shapoval A.V., Prichina E.S. Determination of the coefficient of stability of slopes in the hypothesis of the sliding surface in the form of a power function //The world of geotechnik.- 2014.- №4.- P.22-25.

In the paper a method of determining the coefficient of stability of slopes in the hypothesis of the sliding surface in the form of a power function. This approach besides stability coefficient values reveals collapse mechanism (i.e., either by vertical or horizontal position, or due to rotation).

Kovalskiy R.K. Determination of sediment system "basis - pile foundation - on base of building" with regard to the data driving test //The world of geotechnik.- 2014.- №4.- P.26-30.

In the article the brought results over of determination of settlement of the system "basis – pile foundation - above fundamental part of building" taking into account these tests of piles. Verification of job performances it is executed with the use of these model measuring of deformations of the built building.

Shokarev Yu.A. On the question of conformity of the actual and calculated sediment reinforced vertical rigid base member //The world of geotechnik.- 2014.- №4.- P.31-33.

Comparison of actual and settlement depths of immersion of the bases reinforced by rigid vertical elements is executed. It is shown that distinction of settlement and actual depths of immersion that more than more relative length of reinforcing elements.